U d'/of OTTAWA
39003004416466

610-1A-130

L. DE LAUNAY
Professeur à l'École Supérieure des Mines
et à l'École des Ponts et Chaussées

6942
ANNEXE DE LA BIBLIOTHÈQUE
uOttawa
LIBRARY ANNEX
V
3A
4

GÉOLOGIE PRATIQUE

ET

PETIT DICTIONNAIRE TECHNIQUE

DES TERMES GÉOLOGIQUES LES PLUS USUELS

Applications de la Géologie à l'Art de l'Ingénieur, à l'Agriculture, à la Recherche des eaux naturelles ou thermales, à l'Évacuation des eaux contaminées, à l'Hygiène publique, à la Découverte et mise en valeur des minerais, combustibles et produits minéraux divers, à la Topographie, etc.

ENGRAIS MINÉRAUX — SOURCES — EXPLORATIONS MINIÈRES
LEVÉS GÉOLOGIQUES SOMMAIRES

2e Édition
revue et corrigée

LIBRAIRIE ARMAND COLIN
RUE DE MÉZIÈRES, 5, PARIS
1909

Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

ANNEXE DE LA BIBLIOTHÈQUE
Universitas
BIBLIOTHECA
uOttawa

QE
33
.L3G
1909

PRÉFACE

Ce petit livre, j'ai à peine besoin de le dire en commençant, ne s'adresse pas à ceux qui veulent faire de la géologie une étude approfondie et, des roches, des terrains, des eaux, ou des substances minérales utiles, une investigation réellement complète et scientifique. Pour ceux-là, il existe d'autres ouvrages très détaillés et conçus dans un tout autre esprit, qui peuvent servir de base à ces leçons de choses sur le terrain, à ces travaux prolongés dans le laboratoire, auxquels nul enseignement écrit ne supplée. Je ne veux pas non plus faire un manuel, un aide-mémoire, qui permette de répondre à toutes les inutiles et fastidieuses questions dont se composent généralement les examens. L'enseignement élémentaire de la géologie, tel qu'il figure dans certains programmes, ne peut avoir pour effet que de dégoûter les élèves de cette science si captivante, par l'aride nomenclature à laquelle il la réduit : ni son utilité

pratique ni son rôle philosophique n'y apparaissent, comme ils le devraient, en pleine lumière. Mais, à côté des savants spéciaux et des candidats à quelque bouton de cristal, si nombreux qu'ils soient en France, il existe, je crois, un nombre de plus en plus grand de personnes, auxquelles des connaissances géologiques sommaires rendraient les plus réels services, si on avait su les mettre à leur portée, et c'est à elles que je voudrais m'adresser, en leur demandant, si je le puis, pour me comprendre, le moins possible de connaissances antérieures, à peine quelques notions tout à fait courantes de chimie ou d'histoire naturelle.

Ce livre de géologie pratique est destiné surtout à ceux qui, ne sachant pas la géologie, ont pourtant besoin de quelques-unes des connaissances auxquelles elle amène. Il a pour but, soit de les leur donner directement, soit, peut-être encore plus, de leur fournir le moyen de les acquérir, sans effort trop pénible ni perte de temps.

J'essayerai donc d'apprendre, aux agriculteurs qui veulent amender leurs champs ou trouver des sources, aux hygiénistes qui cherchent l'assainissement des grandes villes, aux explorateurs qui poursuivent la découverte de substances minérales utiles (terre à briques, pierre de taille, phosphates, sel gemme, houille ou minerais quelconques), aux ingénieurs et entrepreneurs, qui ont des fouilles

à faire pour l'établissement de routes, canaux ou simples fondations d'édifices, aux topographes, géographes et même aux artistes, qu'intéressent diversement les formes du terrain, aux voyageurs enfin, qui partent pour un pays inconnu avec le désir d'en rapporter une ample moisson de faits, les premières notions pratiques de géologie qui leur sont le plus indispensables; je m'efforcerai surtout de leur montrer comment ils peuvent les appliquer à un but utile, à quelle porte il leur faut frapper le jour où ils éprouvent le besoin de les développer sur un point spécial.

Dans les limites restreintes où ce livre doit se maintenir pour rester fidèle à son programme, les indications qu'il renfermera sur tant de sujets et de si divers ne pourront être, on le conçoit, que tout à fait sommaires. Quiconque voudra les compléter et pousser plus loin se trouvera donc dans la nécessité de consulter d'autres ouvrages plus détaillés et des cartes géologiques; afin qu'à ce moment il ne se trouve pas complètement désarmé devant une terminologie et un mode de figuration inintelligibles, j'ai cru nécessaire de lui en donner la clef, autant qu'on pouvait espérer le faire en quelques pages; c'est l'objet du chapitre que je consacrerai plus loin à la confection et à la lecture des cartes géologiques, ainsi que du petit vocabulaire des termes géologiques les plus

usuels, qui m'a paru le complément indispensable de ce travail.

Passer de là à une véritable et complète exploration géologique, si l'on n'a pas travaillé, pendant des mois ou même des années, sous la direction efficace d'un maître expérimenté, on ne saurait y songer; arrivé à un certain point, la consultation d'un spécialiste devient indispensable. Mais, du moins, ceux qui auront pris la peine de me lire auront-ils pu trouver la solution de certains problèmes très simples et qui, à la campagne ou dans un pays isolé, se posent constamment; peut-être, en même temps, auront-ils compris les ressources pratiques et, dans un autre ordre d'idées, l'intérêt philosophique, que nous offre la géologie. Si j'étais arrivé à ce résultat, si j'avais fait un peu mieux apprécier les efforts des géologues, saisir le but de leurs courses et de leurs coups de marteau, attiré à leurs travaux le concours de quelques bonnes volontés, fussent-elles au début bien inexpérimentées, je ne dissimule pas que je croirais avoir rendu service, même à la haute science, souvent trop dédaigneuse, pour laquelle les plus humbles collaborateurs, surtout quand il s'agit de sciences naturelles, peuvent être souvent des instruments de recherche et d'observation très précieux.

GÉOLOGIE PRATIQUE

CHAPITRE I

La géologie. Son but pratique et scientifique. Ses moyens d'action.

La géologie est la science de la terre, non pas seulement la description de sa forme extérieure actuelle, qui, sous le nom de géographie, n'en est à vrai dire qu'une branche secondaire, mais la reconstitution de son histoire, ou, comme l'on dit, de sa *paléogéographie*, de son mode de développement dans le passé (comparable à celui d'un être vivant) et la détermination de ses parties profondes, qui échappent ordinairement à nos regards, mais que certains travaux, puits de mine, tunnels, etc., permettent, en des points choisis, d'observer ou de vérifier.

La terre n'a pas toujours eu l'apparence et la structure que nous constatons aujourd'hui ; les montagnes et les océans, comme les individus ou les peuples, ont leur histoire ; là où nous trouvons la terre ferme, on eût pu voir autrefois des mers et des lacs ; là où nous nous heurtons à une grande chaîne de montagnes alpestres, il existait, à une époque antérieure, une vaste plaine ou un bassin marin ; là où

nous rencontrons, au contraire, un vaste plateau arasé, il s'est dressé jadis des pics comparables à ceux des Alpes ou de l'Himalaya; où s'étendent les glaces polaires, on a connu des températures tropicales; où règne aujourd'hui la chaleur, il a existé des glaciers; des lions, des rhinocéros, ou des animaux marins ont tour à tour vécu sur l'emplacement de Paris, etc. Retracer ces vicissitudes et ces fluctuations, auxquelles fut soumise l'histoire des océans et des monts à travers les siècles, essayer d'en retrouver la loi et de la rattacher peut-être à des causes astronomiques, suivre en même temps d'âge en âge les transformations de la vie sous ses deux formes, animale et végétale, à la surface de notre planète, voir les espèces comme les individus apparaître, se développer, puis finir et s'efforcer d'en conclure les lois générales qui président au mystérieux phénomène de la vie, tel est l'objet essentiel de la *géologie théorique*.

D'autre part, l'aspect superficiel de la terre n'a aucun rapport avec celui qu'elle présente à des profondeurs diverses; au-dessous d'un sable aride, il peut se rencontrer bientôt une nappe de glaise, qui emmagasine les eaux; sous un terrain mouvant, la couche propre à asseoir des fondations est à une distance de la surface plus ou moins grande; des dépôts utiles de marne pour amendement, de phosphate, de houille ou de minerai de fer peuvent exister sous une série de couches stériles plus ou moins complexes, etc. Le *but pratique de la géologie* est d'arriver à prévoir, d'après la seule observation des terrains superficiels et des tranchées naturelles sur une étendue plus ou moins grande et, presque toujours, sans aucune espèce de fouille ou d'excavation, la succes-

sion complète des couches que doit traverser un puits ou un sondage foré en un point quelconque et prolongé autant qu'on le voudra, avec les nappes d'eau ou les gisements de substances minérales utiles qui peuvent y être intercalés.

En même temps, la géologie enseigne à apprécier, d'après l'allure superficielle de ces minéraux utiles, la direction dans laquelle il convient de les rechercher en profondeur, les variations dans leur forme, dans leur nature, ou dans leur richesse, auxquelles on doit s'attendre en s'enfonçant souterrainement.

Il est à peine besoin de dire que, sans géologie, il est impossible de faire un travail de mine, d'exploiter rationnellement une carrière, de capter une source, d'établir un projet de tranchée ou de canal, etc. Ceux-là mêmes qui, pour certaines applications, croient se passer de la géologie en se laissant guider par une pratique purement empirique, font, en réalité, de la géologie (de la mauvaise géologie souvent) comme M. Jourdain faisait de la prose, sans le savoir.

L'objet de ce livre étant uniquement l'application pratique de la géologie, je n'ai pas à m'étendre ici sur son grand intérêt théorique et philosophique[1]; il est toutefois nécessaire d'expliquer en commençant quelles sont les bases de la science géologique et comment ont procédé les géologues pour acquérir, peu à peu, les connaissances générales, sur lesquelles nous aurons à appuyer nos applications.

La méthode d'investigation géologique est fort peu connue et, bien que la France soit constamment par-

1. Ce côté de la question a été développé en détail dans *la Science géologique* (Armand Colin), et, succinctement, dans l'*Histoire de la Terre* (Flammarion).

courue en tous sens par une pléiade de chercheurs, qui travaillent activement à achever sa carte géologique, bien peu de personnes, même parmi les plus cultivées, se rendent compte du résultat que ces savants peuvent atteindre en suivant les chemins, le marteau, la boussole ou le baromètre à la main, sans jamais exécuter de sondages ni de tranchées profondes; bien moins encore se doutent du procédé, par lequel ces observations toutes superficielles peuvent arriver à permettre de reconstituer l'histoire de la terre. J'expliquerai plus tard, dans un chapitre spécial [1], comment on établit une carte et une coupe géologiques, ou comment on les utilise; je voudrais ici seulement rappeler quelle est la *méthode géologique* et par quelles étapes successives la science, dont nous nous occupons, a dû passer pour arriver à son développement actuel.

La méthode des géologues peut être comparée à celle, probablement mieux connue des lecteurs, qu'emploient les archéologues toutes les fois qu'il leur manque le secours essentiel des annales écrites. Quand, par exemple, Schliemann et ses successeurs ont retrouvé à Troie les restes de plusieurs villes superposées; quand, dans une fouille quelconque, on met à jour, sous une église moderne, une basilique byzantine; sous celle-ci, les fondements d'un temple grec, et que l'on reconnaît chacune de ces couches superposées à certains indices caractéristiques, forme et décoration des poteries, nature des matériaux ou des métaux, médailles, etc.; puis, que l'on se sert d'une chronologie ainsi établie pour dater les résul-

1. Chap. III, p. 72.

tats d'une autre fouille isolée, où n'existe aucune superposition semblable, on fait, en réalité, ce que l'on appelle une coupe géologique.

Il faut bien le comprendre, en effet, chaque petit banc de terrain observable dans nos carrières ou nos tranchées, chaque couche de calcaire, de grès ou de schiste, représente une époque, une phase de l'histoire terrestre, pendant laquelle ce dépôt s'est constitué et, plus ce terrain est profond dans la série des dépôts, plus il est ancien. La plus mince veinule, qui nous paraît méprisable, peut être le reste, le témoin, en quelque sorte le symbole d'une longue période, dont l'évaluation en années, qui nous échappe encore, comporte, sans doute, souvent des dizaines ou des centaines de siècles.

En dehors de ces superpositions directement observées, qui amènent seulement à des lambeaux de chronologie relative, toute l'interprétation que nous pouvons tenter des formations anciennes est uniquement fondée sur leur comparaison avec les *formations actuelles*, que nous voyons chaque jour se déposer sous nos yeux, de même que, pour reconstituer des animaux disparus, Cuvier les a rapprochés d'animaux vivants, avec lesquels leur squelette présentait certains caractères communs. On doit bien, il est vrai, supposer que les conditions physiques et chimiques n'ont pas toujours été sur la terre ce qu'elles sont aujourd'hui et, par suite, que certaines actions, échappant à nos observations actuelles, ont pu intervenir jadis. Mais, plus la science progresse, plus on est porté à diminuer le rôle de ces actions inconnues et mystérieuses, auxquelles on recourait volontiers jadis comme à un moyen d'explication commode et plus on

admet qu'à l'intensité près la plupart des phénomènes, auxquels sont dus les terrains de nos champs et de nos montagnes, se produisent encore, en quelque point de la terre plus ou moins éloigné, sous les yeux de nos observateurs. C'est pourquoi on distingue aussitôt, par comparaison avec ce qui se passe aujourd'hui, les éléments dont se compose le sol en deux catégories essentielles, dont j'indiquerai bientôt la portée : l'une ayant dû se former par une *sédimentation*, par un dépôt dans l'eau à une distance relativement faible des côtes (moins de 300 kilomètres) et ayant pris, comme tous les dépôts semblables, l'allure de couches ou bancs parallèles entre eux ; l'autre, probablement cristallisée par *refroidissement d'une masse fondue*, avec ou sans pression, à la façon des laves de nos volcans. La première catégorie forme plus spécialement les *terrains* ; la seconde, les *roches*, avec lesquelles la plupart des gîtes métallifères sont en relation. Quelques très rares dépôts ont été, en outre, constitués par simple éboulement, par une action glaciaire, ou par un transport dû aux vents, sur tel ou tel ancien continent émergé, dont nous n'arrivons généralement à déterminer la place qu'indirectement par l'étude de sa ceinture de dépôts marins.

C'est dans l'examen des terrains sédimentaires que l'on trouve tous les éléments nécessaires à la reconstitution de l'histoire du globe ; l'étude des roches ignées forme, elle, une science à part, la *pétrographie*, éminemment propre à nous éclairer sur la constitution profonde de la terre, sur sa composition chimique, sur la phase cosmique de sa consolidation, et permettant de plus de marquer, dans l'histoire géologique, certaines phases d'activité interne, de paro-

xysme éruptif, en rapport avec les mouvements de dislocation, qui ont produit des soulèvements de montagnes ou des effondrements envahis par les eaux.

Quand on étudie les dépôts sédimentaires actuellement constitués, dont le premier aspect montre l'analogie avec les couches stratifiées anciennes, on voit aussitôt combien peu se forment sur les continents : à peine quelques lits d'alluvions dans le fond de nos lacs ou dans les vallées de nos rivières; presque tous sont des dépôts marins; d'autre part, les explorations du fond des mers ont montré qu'au delà de 300 kilomètres à partir des côtes, dans la haute mer, la sédimentation cessait son effet; la presque totalité des terrains géologiques doit donc correspondre *a priori*, comme je l'annonçais plus haut, à des dépôts accumulés le long des côtes des diverses époques correspondantes, et jusqu'à une distance de 300 kilomètres de ces côtes.

Ces dépôts présentant une extension toute particulière au voisinage immédiat des rivages, c'est, le plus souvent, à des formations de mers peu profondes que nous avons affaire dans les terrains anciens. Rarement on retrouve des formations déposées sous plus de 500 mètres d'eau et, plus rarement encore, des formations dites *pélagiques*, c'est-à-dire de haute mer[1]. On voit donc combien est limité le champ d'investigation qui nous est ouvert par l'étude des dépôts géologiques.

Mais, en outre, il faut remarquer de suite que lorsqu'on examine nos plages actuelles, même sur

1. Zoologiquement, on appelle zone *néritique* la zone où les mers n'atteignent pas 200 m. de profondeur; zone *bathyale*, celle qui va de 200 à 1 000 m.; zone *abyssale*, celle qui dépasse 1 000 m.

une faible longueur, on voit ici se déposer des sables, là des galets, ailleurs des argiles; chacun a pu en faire l'observation au bord de la mer et, si l'on va un peu plus loin des côtes, ce seront des calcaires ou des boues manganésifères. Toutes ces formations sont pourtant contemporaines. D'autre part, la nature de ces divers sédiments, qui peuvent se produire sur une côte, étant, au total, extrêmement peu variée, c'est indéfiniment entre ces mêmes termes, calcaires, sables ou grès, galets ou poudingues, argiles ou schistes, qu'a dû osciller la sédimentation à toutes les époques. Il en résulte que, contrairement à une idée trop répandue, la nature physique ou chimique d'une couche de terrain n'apporte à peu près aucun indice sur son âge réel et qu'il faut recourir à d'autres procédés pour reconnaître à distance le synchronisme de deux strates sédimentaires.

Comment alors a-t-on pu établir — ce qui est le point de départ de toute géologie — l'ordre de succession complet des dépôts géologiques, non seulement pour une région déterminée, mais pour l'ensemble de la terre?

Il est facile, en effet, de concevoir qu'en certains points propices, le long d'escarpements ou de tranchées, on ait pu observer la superposition, d'un certain nombre de couches, désignées par les lettres A, B, C, D, E et en conclure logiquement que la couche A, recouverte par la couche B, s'est déposée jadis avant elle dans les eaux, la couche B avant la couche C, etc.; on peut même comprendre encore que, suivant à quelque distance la couche E, on ait rencontré ailleurs, au-dessus d'elle, une nouvelle succession E, F, G, H et qu'on ait ainsi complété la première coupe. Mais,

évidemment, de semblables observations directes n'ont pu conduire bien loin et surtout elles seraient dans l'impossibilité de permettre un parallélisme entre deux régions séparées par des déserts ou des océans.

Fort heureusement, il s'est trouvé — et les premiers chercheurs l'ont remarqué bien vite — que, dans la plupart de ces couches sédimentaires, sur lesquelles portaient les observations, s'étaient perpétués les restes fossilisés des animaux marins, lacustres ou plus rarement terrestres, ainsi que des plantes qui vivaient à l'époque où s'étaient accumulés ces sédiments. On a de plus constaté (et c'était là le point essentiel) que l'ensemble de la faune et de la flore changeait d'une couche à l'autre, certains individus, certaines espèces pouvant, il est vrai, se perpétuer plus ou moins longtemps, mais leur groupement ayant subi avec le temps une transformation continuelle, qui rendait chacune de ses étapes caractéristique d'une période déterminée.

On a peut-être un peu exagéré, au début, cette loi; on a eu une tendance à méconnaître les points de suture, par lesquels s'est faite, à travers les temps, la transmission des êtres organisés au moyen de formes, de plus en plus rapprochées de celles qui composent la nature aujourd'hui vivante. Il n'en est pas moins vrai que, dans l'ensemble, un seul coquillage trouvé dans un terrain permet à un spécialiste de reconnaître aussitôt l'époque à laquelle appartient celui-ci, tout au moins de la renfermer entre certaines limites, que la découverte d'autres espèces dans la même couche permettra de resserrer de plus en plus : absolument comme une médaille donne à un archéologue une

première approximation de l'âge du monument où il la rencontre. Celui-ci verra, par exemple, d'abord, au premier aspect, qu'il a affaire à un type romain, puis à une médaille des Césars, puis que ce César était Néron, puis que la médaille a été frappée pendant tel ou tel proconsulat de cet empereur. Le géologue est même plus renseigné par sa découverte que l'archéologue; car une médaille de Jules César pourrait, à la rigueur, se trouver dans un édifice du temps de Trajan; au contraire, un organisme rencontré dans une couche a nécessairement vécu pendant le dépôt de cette couche même, à moins qu'on ne le suppose arraché par remaniement à un dépôt antérieur : ce qui est arrivé parfois, mais ce qu'alors son aspect extérieur permet aisément de reconnaître.

Grâce à cette transformation progressive de la vie, qui fait que chaque période de l'histoire terrestre a eu ses formes vivantes caractéristiques, il est devenu relativement facile de rapprocher l'une de l'autre des coupes partielles, prises souvent à de grandes distances, mais comprenant des étages communs et, de proche en proche, on est ainsi arrivé à dresser une longue liste des divers étages successifs, qui se sont formés depuis la consolidation de notre planète, chacun étant caractérisé par sa faune et par sa flore : liste que les géologues sont constamment occupés à compléter, à retoucher et à préciser[1]. C'est, pour eux, quelque chose d'analogue à ce que peuvent être, pour un historien, des listes de Pharaons et de rois.

On voit aussitôt quelle peut être la difficulté

1. Voir le tableau complet de ces terrains au ch. x, page 296.

d'étendre de semblables listes à l'ensemble de la terre, d'établir un synchronisme parfait entre les séries déterminées, par exemple, en Australie et en France. C'est que rien ne prouve *a priori* que l'évolution, la transformation des êtres vivants se soit faite, synchroniquement, avec une rapidité égale dans les diverses régions du globe; il est, tout au contraire, extrêmement probable que l'apparition de nouveaux types a dû se produire sur certains points plus propices et rayonner, à partir de là, vers le reste du monde; inversement, des individus d'une époque antérieure ont pu, dans un point spécial, se trouver protégés et perpétués par des conditions locales. C'est ainsi qu'à l'époque actuelle il existe, en certaines régions, des animaux dont l'aspect étrange nous frappe aussitôt comme un reste d'une époque antérieure : par exemple, les hippopotames, les rhinocéros, les girafes, les marsupiaux, les baleines, animaux d'ailleurs voués à une destruction très rapide et destinés à disparaître dans un court délai; la race humaine elle-même nous offre des types perpétués des époques primitives : les Fuégiens par exemple, qu'il serait difficile de considérer comme nos contemporains, si on était uniquement dirigé par l'étude des ossements ou du cerveau.

C'est pourquoi le géologue s'attache de préférence à l'étude des animaux marins et spécialement des animaux de haute mer, qui, pouvant plus facilement se transporter d'une partie du monde à l'autre que des animaux terrestres, et étant moins exposés que ceux-ci à cantonner leurs variations progressives dans un rayon restreint, ont dû présenter, sur l'ensemble de la terre, une évolution plus uniforme et plus régulière.

Cette étude une fois terminée, le géologue se trouve dans la situation où serait un historien qui connaîtrait seulement par leur style et par leur ordre de succession les époques Gothique, Renaissance, Henri IV, Louis XIII, Louis XIV, Louis XV, Louis XVI, Directoire, Empire, Restauration, Louis-Philippe — j'accumule à dessein les noms —, mais qui ignorerait d'ailleurs absolument leur durée réelle et serait quelque peu porté à leur attribuer une valeur égale.

Quand on lit, dans un traité de géologie, les innombrables subdivisions établies dans le tertiaire du bassin de Paris, qui s'y prête par l'abondance et la variété de sa faune, tandis qu'on voit ranger dans un seul bloc tout le précambrien; si l'on se contente de regarder la liste des étages géologiques sans connaître leur valeur relative, on peut être facilement dupe d'une illusion de ce genre et raisonner comme l'historien ignorant, pour lequel tout le moyen âge n'aurait pas duré plus longtemps que le seul règne de Louis-Philippe. Mais, jusqu'à nouvel ordre, il faut pourtant se résigner à ne pas préciser davantage; car absolument rien aujourd'hui ne nous permet d'évaluer en années aucune période géologique.

L'établissement de cette liste des terrains, avec leurs caractères distinctifs et leurs noms, a été le premier travail des géologues; elle a déjà, par elle-même, son grand intérêt philosophique; car, après avoir demandé à la *paléontologie* (c'est-à-dire à la science des animaux disparus) son concours, elle est, à son tour, le fondement de toute étude sur les transformations des êtres organisés, sur l'histoire même de la vie. Elle a également son intérêt pratique; car la connaissance de ces successions de couches permet de prévoir les

résultats des sondages en un point donné et de rechercher ainsi des substances utiles. Elle n'est pourtant qu'un point de départ pour la véritable science géologique, qui commence à peine, depuis quelques années, à sortir de ces nomenclatures arides, à gravir un échelon de plus vers son but réel.

Savoir, quand on rencontre une couche de terrain, le niveau précis de la série chronologique où cette couche vient se placer; déterminer, en quelque sorte, son numéro d'ordre et, par suite, être en état de l'identifier avec les couches de même numéro rencontrées ailleurs, n'est, en effet, qu'un premier résultat, et l'on peut se proposer d'aller beaucoup plus loin.

Les investigations ultérieures des géologues portent sur deux questions principales : 1° étude des *conditions de dépôt* de chaque terrain et du mode de vie des êtres qu'on y rencontre, en vue de reconstituer la disposition géographique, le climat, etc., à l'époque où il s'est formé; 2° examen, dit *tectonique*, des dislocations, plissements, crevassements, auxquels la plupart des terrains ont été soumis depuis leur dépôt, afin de connaître les mouvements du sol et d'écrire l'histoire des chaînes de montagnes, comme on a écrit précédemment l'histoire des océans par l'examen de leurs sédiments.

Voici comment on aborde la première question. La comparaison attentive d'un terrain ancien avec des formations actuelles de même aspect permet déjà souvent de reconnaître, d'après ses caractères généraux, physiques, chimiques et minéralogiques, si l'on a affaire à un dépôt fluviatile, lacustre, marin littoral ou marin de mer profonde. Par exemple, pour les fleuves, les dépôts présentent, presque toujours, dans

le détail, quelque irrégularité et des alternances tout à fait locales de sables, de graviers et d'argiles, déposés à des moments de crues par lits inclinés, s'enchevêtrant les uns dans les autres ou passant de l'un à l'autre; dans l'ensemble, on a souvent de gros graviers à la base, surmontés de sables plus fins; ces alluvions forment, en outre, de longues bandes relativement étroites, suivant les sinuosités des vallées, dont elles épousent la pente, avec des dispositions en terrasses étagées, qu'on peut fréquemment observer aujourd'hui. Dans les lacs, les eaux étant calmes, les éléments, de grosseur différente, qui tombent des rivages, ou surtout qui sont charriés par les torrents, ne subissent pas une séparation, une préparation mécanique complète, que nous trouverons tout à l'heure très caractérisée quand nous ferons intervenir l'action des vagues marines. Il y a seulement, dans cet ordre d'idées, en considérant un même dépôt, une atténuation progressive et généralement rapide de la grosseur des éléments, quand on s'éloigne du bord du lac pour gagner le centre : les parties légères seules ayant pu être entraînées au large par des courants superficiels, tandis que les gros blocs et les éboulis s'amoncelaient le long des parois. D'autre part, des dépôts de gypse ou de sel témoigneront d'une lagune marine en voie d'évaporation ou d'une formation désertique, au-dessus de laquelle il n'est pas rare de retrouver ensuite, par une confirmation de cette hypothèse, des couches contenant des restes de plantes terrestres. Enfin, dans les eaux de la mer, il s'est produit, par l'action régulatrice des vagues, un travail analogue à celui que font les laveurs d'or en secouant leur minerai dans une caisse pleine d'eau

jusqu'à ce que les parties métalliques, qui sont les plus lourdes, tombent au fond, tandis que les parties légères sont maintenues en suspension. Là, si l'on excepte la zone tout à fait littorale, sur laquelle nous reviendrons, les sédiments se sont accumulés en couches régulières, constamment nivelées à la surface par les vagues, et à peu près horizontales [1].

Ces couches ont une allure toute différente quand on s'éloigne de la côte pour gagner le large.

Ainsi les conglomérats, formés de gros galets soudés ensemble, les grès grossiers n'ont pu se former qu'à proximité de la côte. C'est encore dans la seule zone alternativement couverte et découverte par les marées qu'ont pu vivre les coquilles perforantes, dont on retrouve les innombrables trous dans certains terrains anciens [2]. Un dépôt de delta présente également une coupe caractéristique et l'indice d'un phénomène littoral, localisé à l'embouchure d'un grand fleuve. Plus loin du rivage, viennent, sur environ 250 kilomètres de large, ce qu'on appelle des dépôts littoraux d'eau profonde, sables, vases bleues ou verdâtres et accumulations d'organismes calcaires. Au contraire, dans les grandes profondeurs des océans, les sondages sous-marins, entrepris dans ces dernières années, ont montré qu'il se formait seulement une argile rouge ou grise caractéristique, avec nodules manganésifères.

Mais, bien plus que les simples caractères lithologiques, les restes d'organismes renseignent sur les

1. Cette horizontalité n'est pas absolue, puisque le fond de la mer ne forme, nulle part, un plan horizontal et présente notamment une pente à partir de la côte; mais elle est très approchée, surtout si on l'étudie sur une longueur restreinte.

2. On peut observer de semblables coquilles perforantes sur certaines de nos plages à marée basse.

conditions où s'est opéré le dépôt d'un sédiment.

Les paléontologues reconnaissent aisément si un animal fossile a été aquatique ou terrestre, si un coquillage fossile appartient à un être ayant vécu en eau douce, en eau saumâtre ou en eau salée. Les accumulations de végétaux terrestres caractérisent un lac, un estuaire, ou tout au plus un rivage, etc.

Par l'étude des animaux marins, on peut distinguer plusieurs zones :

1° Zone littorale (à température changeante, à mouvement de vagues), avec lamellibranches perforants, huîtres, moules, plicatules, c'est-à-dire animaux ayant vécu attachés au rocher ; puis des oursins, des brachiopodes et des restes d'animaux nageurs, tels que les ammonites et les bélemnites.

2° Zone des brachiopodes et des coraux entre 0 et 40 mètres de profondeur, avec récifs coralliens calcaires, éponges, etc.

3° Zone de 200 à 1000 mètres (bathyale), à température presque constante et pénétration de lumière à peu près nulle, où l'on ne trouve plus que des animaux nageurs.

4° Zone au-dessous de 1000 mètres (abyssale) à température voisine de 0°, aux animaux se nourrissant presque exclusivement de plankton.

On peut donc, en présence d'un terrain quelconque de nos champs, contenant les restes fossilisés de ces animaux, dire : à telle époque, il y avait, en ce point, un lac, un estuaire, un rivage, une mer profonde.

Plus encore : la présence des moules indique, en général, des eaux vaseuses ; celle des coraux suppose une température moyenne élevée, une profondeur variant de

40 mètres à zéro, enfin une eau marine très pure; telle plante ou tel mammifère, dont on connaît exactement les conditions de vie, renseignera sur le climat, le caractère de la végétation, etc. On aura, par d'autres observations, des indices sur le sens des courants marins, sur les embouchures de fleuves dans la mer, sur les incursions possibles de la mer dans un lac d'eau douce, etc., et, finalement, on arrivera à concevoir une représentation suffisamment exacte de l'aspect que présentait la terre, en tel ou tel point déterminé, à une époque ancienne, bien caractérisée.

De semblables observations, suffisamment multipliées à la surface du globe, permettront alors de reconstituer la géographie physique de la terre pendant toutes les périodes successives, par lesquelles elle a passé, avec les cartes de ses mers et de ses lacs, ses courbes d'égale température, etc.

Il reste seulement, ainsi que je l'ai dit plus haut, a compléter cette étude rétrospective, qui, jusqu'ici, a porté surtout sur le régime des eaux marines, lacustres ou fluviatiles, par l'histoire des chaînes de montagnes. C'est l'objet d'une série de recherches, aujourd'hui très développées, qui constituent ce qu'on appelle la *tectonique*.

Il ne faut pas, en effet, s'imaginer, comme on le ferait aisément à priori, que de hautes chaînes, telles que les Alpes ou les Pyrénées, ont toujours existé, ou du moins sont très anciennes. On peut, au contraire, se rendre compte que ces très hautes chaînes sont particulièrement récentes : une chaîne étant comme un être vivant, qui se dresse d'abord, puis succombe a une usure progressive, et finalement disparaît. On arrive, par une méthode dont on peut aisément

exposer le principe, à savoir exactement à quelle époque une chaîne a commencé à surgir au-dessus de la plaine et pendant combien de temps a duré son soulèvement, et c'est là une étude qui amène à des résultats pratiques; car les formations de roches éruptives, avec lesquelles les gîtes métallifères sont en relation, paraissent une conséquence plus ou moins directe de ces mouvements anciens du sol.

Mais, d'abord, quelle est la cause de ces mouvements d'énorme amplitude, dans une écorce terrestre, que nous avons quelque tendance à considérer comme stable et immuable? Il est très probable qu'il faut voir là un effet du refroidissement progressif de notre planète (autrefois en fusion complète, comme le soleil), qui amène la concentration progressive de son noyau central encore en ignition. Tout se passe comme si l'écorce terrestre amenée à s'appliquer sur ce noyau de plus en plus petit, était obligée de se rider, de se contracter, à la façon d'un vêtement trop ample, sur un corps amaigri.

On constate très bien, par la méthode que je vais indiquer tout à l'heure, qu'en certaines régions de la surface terrestre il y a eu, à un moment déterminé, un bassin lacustre allongé, dont le fond, par suite d'une compression latérale, a descendu, s'est enfoncé peu à peu, entraînant un approfondissement de la cuvette, où sont venues s'accumuler des masses de plus en plus considérables de sédiments. C'est ce que l'on a appelé un *géosynclinal.*

Il est alors arrivé, par une suite naturelle du même phénomène, que, la compression latérale continuant, sur le bord de ce bassin à sédimentation si active, une crête orographique a commencé à surgir; elle

s'est dressée de plus en plus, et les sédiments antérieurs, comprimés, froissés en une série de plis alternativement saillants et rentrants (anticlinaux et synclinaux), ont finalement produit une haute chaîne montagneuse. C'est là le premier stade dans l'histoire de cette chaîne; après quoi, l'érosion s'attaque à elle aussitôt pour en démanteler les parties hautes, et, plus la chaîne vieillit, plus elle perd ses saillies, plus elle se réduit à un plateau, sur lequel on n'aperçoit plus alors que les racines des plissements, sous la forme de longue bandes parallèles de terrains alternatifs, produisant, sur les cartes géologiques, des zones longitudinales diversement colorées.

Parmi nos chaînes de montagnes françaises, les Pyrénées, par exemple, témoignent d'une usure plus prononcée que les Alpes, le Plateau Central que les Pyrénées et la Bretagne que le Plateau Central.

Maintenant, par quel procédé peut on arriver à reconstituer, après coup, l'histoire de ces mouvements finis, de ces chaînes aujourd'hui usées jusqu'à la racine?

Le point de départ de toute théorie tectonique est cette observation générale que les sédiments marins se déposent à très peu près horizontalement. Partout où nous trouvons, dans nos terrains, une couche marine redressée, nous pouvons donc affirmer à priori qu'il y a eu, en ce point, un mouvement du sol postérieur à son dépôt. En considérant dans une région les couches les plus récentes qui aient été redressées et, au contraire, la couche la plus ancienne, qui, postérieurement à celles-ci, soit restée horizontale, on peut en conclure que le mouvement du sol a eu lieu entre l'époque caractérisée par les couches

redressées et celle à laquelle correspond la couche horizontale.

Mais ce n'est là qu'un cas particulier simple, puisque nous supposons la couche supérieure restée horizontale : ce qui revient à admettre implicitement que le mouvement étudié est le dernier auquel ait été soumise la région envisagée, puisqu'après lui aucun autre n'est venu troubler l'horizontalité des couches supérieures, qui se sont stratifiées tranquillement dans un bassin marin ou lacustre, formé sur l'emplacement de la montagne disloquée.

Plus généralement, on observe, entre deux séries de couches, ce qu'on appelle *une discordance de stratification*, c'est-à-dire que les dernières couches, au lieu de se superposer normalement aux premières, les ayant trouvées déjà redressées, se seront empilées sur leurs tranches.

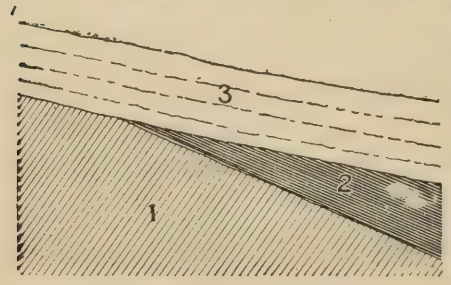


Fig. 1. — Coupe verticale théorique montrant deux discordances de stratification : 1° entre les terrains 1 et 2; 2° entre les terrains 2 et 3.

Une coupe de terrain, telle que celle de la figure 1, accusera deux grands mouvements des terrains, l'un entre les couches 1 et 2, l'autre entre les couches 2 et 3.

Cette discordance se trouvera, d'ailleurs, en général, accentuée par un changement profond dans la nature des dépôts et, notamment, il arrivera souvent qu'au mouvement de dislocation ait succédé une phase troublée, résultant d'une incursion des eaux sur une côte auparavant émergée : phénomène marqué par des dépôts de grès et de conglomérats.

Un autre indice, qui pourra éclairer sur l'existence d'un mouvement ancien dans le sol, c'est une *lacune* dans la série des dépôts marins, connue par la géologie générale : lacune montrant que, pendant une période correspondante, le territoire en question a cessé d'être submergé par les eaux, s'est transformé en continent, pour s'enfoncer de nouveau à l'époque qui a vu se former, au même point, de nouvelles strates marines. Cette émersion peut être mise en évidence par des caractères directs, végétaux en place, dépôts terrestres, etc.

Il arrive encore que l'on constate ce que l'on appelle une *transgression*, c'est-à-dire que l'on voie un même terrain reposer, en des points voisins les uns des autres, sur des couches d'âge plus ou moins ancien, avec des lacunes variables, comme, dans la figure 1, le terrain 3 au-dessus des terrains 1 et 2 : cela prouve qu'à l'époque marquée par ce terrain 3, la mer a envahi un territoire, où, comme dans les continents actuels, des étages géologiques très divers étaient représentés à la surface du sol. Imaginons, par exemple, la mer recouvrant aujourd'hui toute la France, passant par-dessus les terrains d'âge si inégal qui font le bariolage de sa carte géologique. Une telle incursion de la mer (la quantité d'eau à répartir sur la surface terrestre restant toujours à peu près la même) ne peut, d'ailleurs, manquer d'avoir été causée par un mouvement du sol.

Beaucoup d'autres observations plus minutieuses peuvent, en outre, permettre de préciser ces premiers résultats ; mais j'en ai dit assez pour faire comprendre quelle était la méthode suivie. Quand on veut aller plus loin, il faut faire des coupes, ainsi que je l'expli-

querai dans un autre chapitre, en reportant sur le papier les pentes respectives des terrains, et celles-ci accusent alors les plis, les fractures des couches : il semble qu'on voie les terrains en mouvement avancer, s'accumuler contre un obstacle, chevaucher et se renverser sous ses yeux.

C'est, notamment, par une méthode semblable que l'on est arrivé à reconstituer l'histoire des chaînes montagneuses dans notre continent européen, et à voir que la chaîne alpestre était la dernière d'une série, qui s'est successivement étagée du nord au sud, chacune d'elles ayant eu son mouvement de refoulement à partir du sud, où se trouvait la haute mer, vers le nord où se dressait déjà la chaîne antérieure, l'*avant-pays* consolidé. L'une de ces chaînes, la chaîne huronienne, a formé une première ceinture autour du pôle; puis la chaîne calédonienne a dressé ses pics dans l'Écosse et la Norvège; la chaîne hercynienne a relié les lambeaux, aujourd'hui disloqués, de l'Espagne, du Plateau Central, des Vosges, de la Bohème et du Plateau Russe; enfin la chaîne alpestre, au sens géologique du mot, comprend, en Europe, toute une suite de rides, depuis la Cordillère bétique, au sud-est de l'Espagne, jusqu'au Caucase.

Ce sont des résultats de ce genre que l'on commence à avoir obtenus pour l'Europe et que l'on essaye d'étendre peu à peu aux autres continents. Le jour où l'on y aura réussi, le jour où l'on possédera, avec une précision suffisante, toute la paléogéographie terrestre et où l'on pourra établir une série de mappemondes successives, représentant la terre telle qu'elle fût apparue à un observateur de l'époque carbonifère, de l'époque jurassique, etc., peut-être la

loi générale, la loi philosophique, et synthétique, qui est le but de toute observation et de toute science, se dégagera-t-elle et fournira-t-elle à l'esprit humain un enseignement précieux sur l'évolution de ce monde matériel, au milieu duquel il se trouve jeté sans le comprendre.

CHAPITRE II

Notions de géologie générale nécessaires dans la pratique.

A. — Caractères extérieurs des principaux terrains (calcaires, grès, schistes, etc.).

B. — Usage pratique d'une coupe géologique. — Cas du Bassin de Paris.

C. — Plissements, renversements, failles, etc.

D. — De la nature et du rôle des terrains superficiels. — Leur mode de formation physique et chimique. — Influence du niveau hydrostatique; zone d'oxydation; zone de cémentation ou de décalcification. — La terre végétale.

E. — Altération superficielle des gîtes métallifères. Aspect de ces gîtes aux affleurements.

Ainsi que je l'ai dit en commençant, mon but n'est nullement de donner ici un traité de géologie sommaire, tel qu'il peut convenir pour apprendre les matières d'un examen en Sorbonne. Il existe déjà de semblables livres, fort bien faits, et, voulant me restreindre à des notions absolument pratiques, je pourrai, je crois, être assez bref sur les indications générales qui doivent composer ce chapitre.

Dans le cas, que je suppose, d'une personne étrangère à la géologie, voulant néanmoins utiliser cette science, il faut, en effet, distinguer, avant tout, entre les observations personnelles très sommaires, que l'on peut apprendre rapidement à faire et le renseigne-

ment plus complet, qu'on peut, en outre, chercher à puiser dans un livre. Dans le premier ordre d'idées, ne pouvant espérer arriver à déterminer avec précision l'âge d'un terrain, il est tout à fait inutile que mon lecteur en ait une idée approximative, qui ne pourrait manquer de le conduire, ainsi qu'on le voit pour tous les demi-savants, à des conclusions et à des hypothèses inexactes ; pour le second genre d'applications, il est encore sans intérêt qu'il se charge la mémoire de séries de noms et de définitions, pourvu qu'il sache trouver et comprendre, dans un livre ou une carte géologique, le renseignement dont il a besoin : opération à laquelle je consacrerai un chapitre spécial.

En pratique, ce n'est pas l'âge absolu d'un terrain qui importe le plus souvent, à moins qu'il ne s'agisse de prévoir les résultats d'un sondage : ce sont ses caractères chimiques et physiques et, si l'âge lui-même peut renseigner un spécialiste sur la nature minéralogique des couches, il convient de ne se livrer à de semblables déductions qu'avec une grande prudence ; car les géologues sont souvent amenés à classer ensemble, par des considérations théoriques, des ensembles de couches tout à fait disparates, argiles, grès, calcaires, etc., qui, en outre, sont exposées à varier fréquemment d'un point à un autre, sans que la carte puisse en prévenir, à moins d'être à très grande échelle. Ces mélanges forcés amènent fréquemment, chez ceux qui demandent à une carte géologique ce qu'elle ne peut pas, ce qu'elle ne doit pas dire, de graves erreurs et, le jour où ils les constatent, une très injuste suspicion contre les résultats pratiques qu'ils peuvent attendre de la géologie.

A. Caractères extérieurs des principaux terrains. — Si nous nous bornons d'abord à ces caractères purement extérieurs et lithologiques des terrains, qu'il importe, avant tout, de connaître pour l'établissement d'une tranchée, le forage d'un puits, l'amendement agricole d'un champ, etc., il est facile de voir que le nombre des types de roches indispensables à savoir distinguer les unes des autres est très restreint, et, comme, par la façon même dont on les a choisies, ces roches sont toutes très communes, on pourrait, si on le voulait, pour une somme d'argent insignifiante, en déposer des séries dans toutes les écoles primaires, où l'on aurait souvent intérêt à venir les consulter.

Je n'en demanderais pas plus, pour une première étude, que 25 ou 30, à savoir : calcaire, marbre, grès, poudingue, schiste, argile, silex, gneiss, micaschiste, granite, porphyre, trachyte, basalte; puis, comme minéraux utiles, dont l'étude sera faite plus tard : quartz, calcite, gypse, barytine, fluorine, phosphate de chaux, kaolin, graphite, anthracite, houille, lignite, hématite rouge et brune, sidérose, pyrite de fer, galène, blende, calamine, cassitérite, stibine, cuivre gris. Cela suffirait, je crois, pour permettre l'intelligence de ce petit livre.

A défaut d'échantillons, il est assez difficile de faire connaître ces roches par des descriptions; je vais toutefois l'essayer, pour les principales roches, en recourant à des comparaisons avec des objets qui doivent être familiers à tous et en renvoyant, d'ailleurs, au petit vocabulaire plus général placé à la fin de ce volume.

Les *calcaires* sont des carbonates de chaux mé-

langés de plus ou moins d'impuretés, silice, argile, oxyde de fer, etc. C'est par la cuisson des calcaires plus ou moins purs qu'on obtient les diverses chaux.

Avec tant soit peu d'expérience, les calcaires se distinguent immédiatement, par leur aspect, de toutes les autres roches. Par exemple, toutes les pierres de construction de Paris, celles de la Bourgogne, du Nivernais, du Berry, de la Touraine, sont des calcaires; la *craie*, le *marbre*, sont également des calcaires.

Si l'on est embarrassé, il suffit de poser sur la pierre une goutte d'acide chlorhydrique étendu d'eau : on voit se produire, avec le calcaire, une ébullition caractéristique tenant au dégagement de l'acide carbonique qui entre dans la composition de cette roche, formée de carbonate de chaux, et que l'acide chlorhydrique a mis en liberté. Quand le calcaire est magnésien et passe ainsi à la *dolomie*, cette ébullition peut être longue à se produire. Dans bien des cas, il peut être utile de reconnaître ces calcaires magnésiens ou dolomitiques, dont les propriétés sont souvent très différentes de celles des calcaires proprement dits, l'aspect restant à peu près le même. Il faut, pour cela, recourir à une analyse chimique.

Les *grès* sont composés de grains de sable siliceux soudés ensemble. Le ciment pouvant être, ou siliceux, ou argileux, ou calcaire, la roche a, suivant les cas, une dureté différente. La cohésion, la soudure entre les grains peuvent être plus ou moins parfaites. Comme type de grès, je citerai les roches de la forêt de Fontainebleau et la plupart des pierres exploitées pour pavés dans les environs de Paris, les pierres de construction utilisées sur beaucoup de mines de houille, etc.

Il ne faut pas confondre ces grès naturels avec les grès des céramistes, qui sont une poterie de glaise et de sable fin, cuite à grand feu.

Un *poudingue* est une agglomération de fragments de roches diverses soudés ensemble, qui ressemble à un nougat.

Un *schiste* est une roche feuilletée, susceptible de se diviser par plans parallèles souvent très rapprochés, comme les ardoises, qui en sont une forme particulièrement dure, compacte et homogène; c'est, en réalité, dans la plupart des cas, une argile durcie et laminée.

L'*argile* est une substance plastique, c'est-à-dire pouvant se pétrir et se façonner, quand elle est humide, puis susceptible de recevoir une cuisson, qui la transforme en terre cuite. On en fabrique des tuiles, briques, etc. C'est un silicate d'alumine hydraté, fréquemment mélangé de matières organiques, dont le *kaolin* est une variété très pure.

Le *silex*, connu aussi sous le nom de pierre à fusil, est une roche dure, à cassure nette et lisse, formée de silice, qui constitue tantôt des bancs continus, tantôt des rognons au milieu d'autres terrains.

Le *gneiss* et le *micaschiste* sont les deux types de ce que l'on appelait autrefois le terrain primitif, en s'imaginant qu'on avait sous les yeux la croûte primitive du globe. On les appelle aussi terrains cristallophylliens, parce qu'ils sont à la fois cristallisés et feuilletés (phyllon, feuille, en grec). Le gneiss est une sorte de granite [1] rubané; le micaschiste est un schiste, dont les feuillets successifs sont séparés par de

1. L'usage constant des géologues est d'écrire granite et non granit, comme le voudrait l'Académie.

grandes membranes continues et souvent contournées de mica ou de talc, qui lui donnent un air luisant, souvent argentin et comparable à celui d'une peau de poisson.

Le *granite*, le *porphyre*, le *trachyte* et le *basalte* ont été choisis comme types de roches cristallines. Le granite est la pierre dure, de couleur souvent grise ou bleuâtre, avec laquelle on fait les bordures de trottoir à Paris; des variétés de granite ont servi aux Égyptiens à tailler leurs obélisques et leurs sphinx. Le porphyre est une roche à pâte beaucoup plus compacte et généralement plus dure, qui, une fois polie, présente souvent de petits rectangles blancs feldspathiques ou de petits hexagones brillants de quartz sur un fond rouge, vert ou brun, dont l'aspect, à la dureté près, rappelle le marbre. Le trachyte est une roche rugueuse, sèche au toucher comme une pierre de meule, de couleur relativement claire, souvent avec des cristaux brillants de feldspath ou des pail lettes de mica. Le basalte est, au contraire, une roche lourde, compacte et sombre.

En dehors de ces roches principales, il en existe encore, dans les terrains, un certain nombre d'autres, dont on peut rencontrer les noms, même dans des publications sommaires ; je renvoie, pour leur explication, au vocabulaire placé à la fin de ce volume.

Quant aux minéraux, qui constituent des substances utiles, ou à ceux qui accompagnent constamment les minerais, comme le quartz, la calcite, la barytine, la fluorine, leur description sera mieux placée au chapitre où nous nous occuperons de la recherche de ces substances [1].

1. Page 177.

La composition des roches et des terrains peut s'étudier par deux procédés différents : 1° par le simple examen minéralogique, à l'œil nu, avec la loupe, ou, plus savamment, avec le microscope; les minéraux constituants étant ainsi reconnus, on part de leur composition chimique, qui se trouve dans tous les traités de minéralogie, et de leur proportion apparente pour avoir une idée sur la composition même de la roche; 2° par l'analyse chimique directe, soit brute sur l'ensemble des éléments, soit en isolant au préalable certains éléments déterminés. Voici, à titre de renseignement, les analyses approximatives de quelques roches.

Composition chimique de quelques roches principales.

	SILICE	ALUMINE	POTASSE	SOUDE	CHAUX	MAGNÉSIE	OXYDE DE FER
Granite	68	15	6	7	1,1	0,1	2,5
Granite à mica blanc (granulite)	75	14	5	6	»	»	1,4
Porphyre quartzifère (microgranulite)	73	14	8	2	0,2	0,7	1,5
Diorite	57	19	2,7	4,9	6,2	3,3	7
Gabbro	48	19	1	3,5	10	8	11
Trachyte	61	19,5	4,1	10,3	1,3	0,7	3,3
Andésite à amphibole	59	20,7	2,4	6,7	4,9	1,7	4,4
Basalte	45	16	1,1	4,5	13	9,6	10,4
Gneiss	71	14	3	2	3	»	6

Les terrains et roches, dont je viens de signaler très sommairement les principaux types, constituent, par leur agencement complexe, l'écorce terrestre.

Les *terrains sédimentaires*, ou stratifiés, y affectent, en principe, l'allure de bancs parallèles plus ou moins épais : bancs restés parfois à peu près horizontaux, comme ils l'étaient au moment de leur dépôt, mais, très souvent aussi, ayant subi des plissements qui leur donnent l'aspect d'un cahier de papier froissé, écrasé, avec des déchirements, des ruptures brusques d'équilibre, des solutions de continuité formant des failles.

Les *roches cristallines* peuvent se présenter sous plusieurs formes principales : 1° roches dites de profondeur, ayant dû cristalliser autrefois en profondeur sous un épais couvercle de sédiments et n'apparaissant au jour actuellement en grands mamelons ou dômes que parce qu'une érosion prolongée a enlevé, décapé ce couvercle : c'est le type ordinaire des granites; 2° roches en dykes ou filons, montées vers la surface à l'état de fusion par des fractures étroites de l'écorce et solidifiées dans ces fractures : c'est un type très fréquent pour certains porphyres, trachytes, etc., qui se rattache intimement au dernier; 3° roches d'épanchement, ayant coulé à la surface en nappes fondues, comme les laves d'un volcan : les basaltes rentrent fréquemment dans ce cas.

Si, laissant de côté les roches, je m'occupe d'abord des terrains qui ont servi à établir la chronologie de notre histoire géologique, ces terrains ont été répartis en trois grands groupes : primaire, secondaire, tertiaire, auxquels on en ajoute parfois un quatrième, le quaternaire, ou époque actuelle, qui n'est à vrai dire qu'une phase du tertiaire.

Ces périodes, ou groupes, ont été, à leur tour, subdivisées en une série d'étages, sous-étages et niveaux, dans le détail desquels je n'entrerai pas, renvoyant

ceux qui seraient curieux de connaître leurs noms au tableau placé, chapitre x, à la page 296.

Un exemple, choisi entre mille, permettra seulement de préciser, en montrant quel usage pratique on peut, dans un cas particulier, tirer d'une semblable série chronologique, lorsqu'elle a été bien étudiée, mais aussi avec quelle précaution il faut s'en servir. Je prendrai comme type le bassin de Paris, dont la coupe est particulièrement classique et familière a tous les géologues.

B. **Usage pratique d'une coupe géologique. — Cas du Bassin de Paris.** — La coupe du tertiaire parisien va être donnée ici, en laissant un peu de côté les noms d'étages et insistant plutôt sur les appellations locales, qui ont théoriquement le tort d'être fondées sur des faits trop particuliers, mais qui, précisément à cause de cela, offrent à l'esprit quelque chose de plus vivant et de plus défini qu'un simple nom; elle est la suivante, les couches étant numérotées de bas en haut, dans l'ordre où elles se sont déposées, c'est-à-dire dans l'ordre inverse de celui où les traverserait un sondage :

MIOCÈNE.	*Helvétien.*	16. Faluns de la Touraine : 20 mètres.
	Burdigalien.	15. Sables et argiles de la Sologne : moins de 40 mètres.
		14. Sables de l'Orléanais : moins de 40 mètres.
	Aquitanien.	13. Calcaire de Beauce : moins de 25 mètres.
OLIGOCÈNE.	*Stampien.*	12. Sables de Fontainebleau et d'Étampes : 40 mètres.
		11. Marnes à huîtres : 2 mètres.
	Sannoisien.	10. Calcaire de Brie, ou meulière : 1 mètre.
		9. Marnes vertes : 4 à 5 mètres. Marnes supragypseuses.
		8. Première et deuxième masses de gypse : 15 à 50 mètres.

ÉOCÈNE.	*Bartonien.*	7. Calcaire de Saint-Ouen : 10 à 20 mètres.
		6. Sables de Beauchamp : 10 à 15 mètres.
	Lutétien.	5. Calcaire grossier : 10 à 45 mètres.
	Yprésien.	4. Sables nummulitiques du Soissonnais ou de Cuise : moins de 50 mètres.
	Sparnacien (landénien sup.).	3. Lignite et argile plastique, avec intercalation de sables d'Auteuil : 2 à 3 mètres.
	Thanétien (landénien inf.).	2. Sables de Rilly et Bracheux : 15 mètres, facies marins locaux, remplacés ailleurs par les travertins de Sézanne.
CRÉTACÉ	*Danien.*	1. Calcaire pisolithique et marnes strontianifères de Meudon : 5 à 6 mètres.

Les épaisseurs indiquées ici peuvent uniquement servir à fixer les idées, rien n'étant plus variable d'un point à l'autre que l'épaisseur de ces niveaux, qui, en certains points, dans cette région même, disparaissent complètement. Les facies également sont très différents suivant les endroits.

Une semblable coupe peut servir, d'après l'inspection du sol, à prévoir ce qui se passe au-dessous. Si, par exemple, comme c'est le cas à Fontainebleau ou à Étampes, on sait être sur les sables de Fontainebleau (12), on en conclura qu'immédiatement au-dessous de ces sables, il existe un niveau de marnes (11) : couche imperméable sous un banc poreux, qui, par suite, doit logiquement arrêter la pénétration des eaux superficielles en profondeur et constituer un niveau d'eau; on trouvera donc, à son intersection avec la surface (sur ce qu'on appelle ses affleurements), un système de sources. Le niveau des marnes à huîtres est, en effet, marqué, aux environs de Paris, par de nombreux étangs et par une abondante végétation. C'est donc là qu'il faudra arrêter le forage d'un puits à eau. Si, au contraire, on vient à percer le niveau des marnes à huîtres (11), on pénétrera

dans la meulière caverneuse (10), où les eaux se perdent, jusqu'à ce qu'on retrouve, au-dessous, une nouvelle assise imperméable (9), celle des marnes ou des glaises vertes, beaucoup moins propice à donner de l'eau d'alimentation que la couche 11 ; car elle est, en général, chargée de sulfate de chaux.

L'inspection de cette même coupe montre encore, à la base des sables du Soissonnais (4), une couche imperméable d'argile plastique (3); on peut retenir qu'une telle superposition de sables poreux ou même de calcaires fissurés sur de l'argile constitue toujours un niveau d'eau.

La coupe, telle que je viens de la donner, permet donc de se faire une idée approximative des terrains que doit rencontrer un sondage en profondeur au-dessous d'une couche quelconque, 12 par exemple, dont on remarque l'affleurement à la surface. Mais il ne faut pas, pour des études pratiques, se servir d'une semblable coupe sans plus ample informé.

Si je prends, en effet, l'ensemble, particulièrement important à Paris, du calcaire grossier (n° 5 de la coupe précédente), cet ensemble, réuni par les géologues sous une même accolade (*lutétien*, c'est-à-dire parisien), se décompose, à son tour, en plusieurs termes : il débute, à la base, (1) par un petit poudingue calcaire à grains de silex noirs ou verts et de glauconie, qui, dans le Soissonnais, devient la pierre à liards, pleine de nummulites semblables à des pièces de monnaie; au-dessus vient (2) un calcaire glauconieux, dit banc Saint-Jacques, qui, vers Grignon, se transforme en un sable meuble. Le banc Saint-Leu (3) et le banc à vérins (4), qui succèdent, se transforment également en sables à Grignon, dans le Vexin

français, ou en Champagne. Puis vient (5) le calcaire grossier à miliolites (c'est-à-dire à petits foraminifères semblables à des grains de milet). Le banc Saint-Nom (6) est recouvert par le banc vert (7) : un lit marneux avec argile lignitifère à nombreux restes végétaux, qui, au Trocadéro, ont donné une flore d'aspect africain (palmiers, etc.). Les clicquarts (8), les bancs francs (9) et la roche de Paris (10) sont encore des calcaires durs; enfin les caillasses (11) sont des lits minces alternatifs de marnes quelquefois magnésiennes, de calcaires compacts et de bancs siliceux, avec veines de gypse, reconnaissables dans des sondages, mais entièrement dissoutes aux affleurements.

On voit, par cet exemple, comment, dans certains cas, une même couleur des cartes géologiques les plus détaillées, une même dénomination des descriptions, peuvent embrasser des terrains tout à fait différents en pratique. Et j'ajouterai, par parenthèse, qu'il est essentiel de ne pas négliger le moindre de ces bancs dans une étude faite sur le terrain; car un lit de 2 à 3 centimètres peut quelquefois représenter, en un point peu favorable, toute une période importante de l'histoire terrestre, qui, ailleurs, aura vu se former des dizaines ou des centaines de mètres de sédiments.

Ainsi, sans chercher ailleurs que dans l'exemple précédent, le banc vert (7) est un lit d'eau douce intercalé entre deux bancs marins. On peut donc conclure de sa présence que, pendant la période qu'il représente, les eaux de la mer s'étaient momentanément retirées de l'emplacement de Paris, où il existait seulement des lacs d'eau douce ou saumâtre, séparés par des îlots. Les plantes, déjà signalées plus haut

dans la couche 7, montrent l'aspect tropical de ces îlots. Des restes de mammifères nageurs, tels que le Lophiodon, trouvés dans ces couches, prouvent qu'il y avait communication possible de ces lacs par des estuaires avec la mer, et c'est par de telles indications, soigneusement groupées, qu'on arrive à reconstituer la géographie de la terre aux époques anciennes.

C'est pourquoi un bon observateur, qui relève la coupe d'un terrain dans une tranchée de chemin ou sur un escarpement, ne doit négliger aucun des petits bancs, si minces qu'ils soient, dont il peut remarquer la superposition. Il doit, au contraire, assigner à chacun d'eux, sur son carnet, un numéro d'ordre, correspondant à des échantillons recueillis sur place et spécialement à des fossiles, s'il a pu en recueillir. Il faut bien se garder de mêler ensemble les fossiles recueillis dans une même tranchée, sous prétexte qu'ils proviennent de points situés à quelques centimètres l'un de l'autre et encore moins utiliser des fossiles trouvés au pied de l'escarpement, dont on ignore la provenance exacte. Sans quoi, toutes les conclusions pourraient être viciées. A quel point, on le comprendra, si je rappelle le cas assez fréquent de carrières, où des couches tertiaires recouvrent des couche secondaires, ou même primaires, abattues ensemble par les travaux et dont les fossiles sont exposés à se confondre dans les éboulis.

De même — et c'est la difficulté, qu'il ne faut pas se dissimuler, des applications géologiques aux prévisions de sondages —, les coupes diverses qu'on a pu relever à la surface dans la région considérée doivent, avant qu'on en tire aucune conclusion, être d'abord rapprochées les unes des autres et soumises à une

discussion serrée pour déterminer les variations que peut subir chaque couche de proche en proche : c'est ainsi seulement que l'on arrive à calculer quelles peuvent être, spécialement au point considéré, l'épaisseur et la composition des divers niveaux.

Le cas du bassin de Paris, que je viens de prendre pour exemple, est très compliqué, à cause des alternances continuelles d'invasions et de reculs de la mer qu'il a subies. Heureusement, il est ailleurs des séries plus homogènes et continues sur de grandes épaisseurs, où les prévisions peuvent être bien plus aisément établies.

C'est ainsi, notamment, que les sondages artésiens ont été chercher, sous Paris, à une profondeur facilement calculée d'avance, des nappes aquifères, dont on connaissait les affleurements en Champagne : par exemple, les sables verts de la base du gault, qui passent à 550 mètres de profondeur au puits de Grenelle.

Dans des masses de schistes primaires ou des dômes de granite, on est encore plus sûr du résultat, les terrains ayant, le plus souvent, toutes les chances pour rester les mêmes à de grandes profondeurs, etc.

C. **Plissements. Renversements. Failles.** — Jusqu'ici, nous avons seulement envisagé le cas ordinaire de terrains en superposition normale; il arrive très fréquemment que ces terrains ont été plissés, disloqués, fracturés, rejetés, et ces accidents divers demandent quelques mots d'explication [1].

Dès qu'une couche n'est plus horizontale, on la définit par la *direction* de ses horizontales et par l'*inclinaison* de ses lignes de plus grande pente; ces

1. Voir : Heim et de Margerie, *Les dislocations de l'écorce terrestre*, 1888.

redressements plus ou moins accentués des couches sont un phénomène constant. C'est ainsi que l'on observe fréquemment, dans un escarpement de montagne, des coupes telles que celle de la figure 2, dans lesquelles les couches forment une série d'anticlinaux (A), ou selles, ou plis saillants, et de synclinaux (S), ou fonds de bateau, ou thalwegs. Ailleurs, comme dans la partie droite de la figure, les plis ayant été encore plus exagérés et toute leur partie supérieure au-dessus

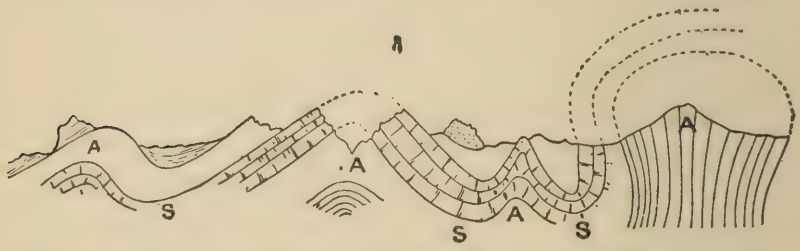


Fig. 2. — Coupe verticale théorique montrant les principales dispositions des plissements de terrain (d'après de Lapparent). — A, anticlinaux ; S, synclinaux.

de la surface actuelle du sol enlevée par l'érosion, on ne voit plus que des couches verticales (qui, pourtant, ont commencé par être horizontales au moment de leur dépôt). Il est bien facile de se rendre compte comment de tels plissements ont pu être provoqués par une compression latérale, due à des phénomènes généraux en rapport avec le refroidissement de la terre.

Une telle compression peut encore amener un *renversement* complet des plis sens dessus dessous, un chevauchement, un charriage et, par suite, une interversion dans l'ordre de succession normal des couches, contre laquelle il importe de se tenir en garde (fig. 3). On sait, en effet, aujourd'hui que de tels renversements sont loin d'être exceptionnels dans les

pays de montagnes; et, notamment quand il s'agit d'aller chercher un étage aussi précieux que le terrain houiller, on peut être amené à commencer un puits ou un sondage sur un terrain inférieur et antérieur au houiller, sous lequel, d'après des données de géologie élémentaire, le houiller ne devrait jamais exister. Le bassin houiller du Nord de la France en donne un exemple remarquable et classique.

L'exagération d'un plissement peut amener une rupture, qu'on appelle une *faille*, lorsqu'elle est accom-

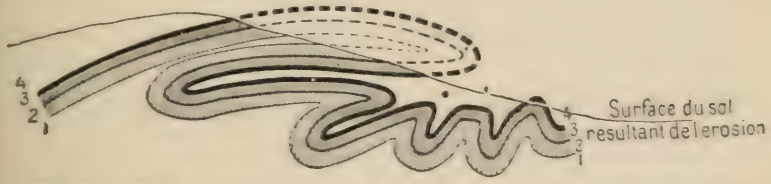


Fig. 3. — Coupe verticale théorique, montrant un renversement des terrains, qui, dans la partie gauche de la figure, apparaissent, une première fois dans l'ordre normal, puis aussitôt de nouveau dans l'ordre inverse de leur superposition normale.

pagnée d'un rejet des couches. De semblables failles peuvent également se produire par dénivellation, effondrement d'une fraction de terrain.

Ces failles présentent un intérêt capital dans nombre de problèmes de géologie pratique. Non seulement elles créent une discontinuité dans les terrains et peuvent amener, par exemple, une couche de grès où l'on attendait un calcaire; mais, en outre, elles jouent un rôle essentiel dans cette circulation des eaux souterraines, qui a produit autrefois les filons métallifères et aujourd'hui les sources thermales.

Parfois, quand les failles mettent en contact à la surface deux terrains de dureté très différente, ceux-

ci ayant été soumis à une érosion inégale, la faille apparaît dans le relief topographique; mais c'est là, contrairement à ce qu'on s'imagine souvent, une exception et, presque toujours, il faut bien partir de cette idée qu'une faille ne se montre pas à la surface sans observation géologique des terrains : c'est le contact anormal de ces terrains qui décèle son existence.

Les failles sont rarement isolées dans les régions où elles se produisent; elles forment alors un faisceau, dont les lois sont beaucoup trop complexes pour être indiquées ici; il ne faut pas les confondre avec les cassures intérieures d'une roche ou d'un terrain, qu'on appelle des *diaclases*.

Ces divers accidents seront reconnus dans la pratique en établissant, pour la région dont on s'occupe, un profil géologique des terrains et une carte géologique sommaire. Je renvoie, pour cette question, au chapitre III. Mais il me paraît indispensable, pour compléter ces notions générales, de donner ici quelques indications sur une catégorie de terrains, que les géologues négligent le plus souvent sur leurs cartes, parce qu'ils en masquent d'autres dont la détermination leur paraît surtout intéressante, et qui jouent, néanmoins, un rôle considérable, souvent essentiel, dans la pratique : en hydrologie, dans les études de gîtes métallifères, pour les drainages, etc. Ce sont les dépôts superficiels de formation tout à fait récente, souvent presque contemporaine, limons, argiles, sables, cailloux épars, terre végétale, etc., dans la production desquels, contrairement à ce qui se passe pour les terrains sédimentaires, les actions de transport et de concentration dans l'eau n'ont pu intervenir que d'une façon tout à fait insignifiante,

mais qui sont, au contraire, dus, en grande partie, à des réactions chimiques ou physiques en relation avec les phénomènes météoriques, l'infiltration des eaux de pluie et même les accumulations des détritus organiques. Sur la carte de France, les plus épais de ces dépôts, quand ils sont signalés, sont marqués A, avec la distinction : limon des plateaux, limon des pentes, etc. La terre végétale proprement dite est toujours supposée enlevée. Nombre d'erreurs pratiques, dans les applications de la géologie, me paraissent être la conséquence du dédain systématique avec lequel on considère souvent ces terrains, dont je vais, au contraire, m'attacher à préciser ici les caractères.

D. **Dépôts superficiels. Leur mode de formation physique et chimique. — Influence du niveau hydrostatique; zone d'oxydation; zone de cémentation ou de décalcification. — Terre végétale.** — Il importe, tout d'abord, de remarquer combien l'épithète de superficielle appliquée plus haut à toutes les formations, dont nous allons nous occuper ici, est vague, élastique et peut, en réalité, s'étendre à des épaisseurs que n'atteignent ni les tranchées d'une route ou d'un chemin de fer, ni même parfois les travaux de mine.

Nous verrons bientôt que les altérations sur place, auxquelles il faut les attribuer pour la plus grande partie, sont limitées à la zone de circulation active des eaux constamment réalimentées en oxygène. Cette zone, qui dépend des accidents du relief, peut être considérable dans les régions montagneuses.

Pour la plupart des géologues, un terrain ne mérite une étude que lorsqu'il a été produit à une époque déterminée, caractérisée par les fossiles contenus au

moyen d'un apport sédimentaire marin, lacustre ou fluviatile, ou lorsqu'il résulte d'une montée éruptive interne. Si l'on envisage, au contraire, un continent depuis longtemps émergé et soustrait à toute action éruptive, tel que le sol de notre France, il s'y passe pourtant, pendant la durée des siècles, une série de phénomènes indépendants de toute sédimentation, souvent même de tout transport, qui n'en ont pas moins une importance pratique des plus considérables par les modifications qu'ils apportent au sol, parfois jusqu'à plusieurs centaines de mètres d'épaisseur : modifications auxquelles on a tout spécialement affaire dans les commencements de recherches minières ou dans tous les travaux de fouille peu profonds que peut se trouver entreprendre une personne peu experte en géologie.

J'ajouterai que l'étude de semblables phénomènes, qui caractérisent à proprement parler une *période d'émersion*, peut avoir aussi son grand intérêt théorique pour la reconstitution de l'histoire de la terre pendant ces émersions continentales, marquées seulement, dans la série des dépôts sédimentaires, par des lacunes. Ces modifications dans la structure de la terre, produites pendant les époques d'émersion, pour être moins considérables que celles des époques de submersion, n'en ont pas moins joué leur rôle, et, notamment en ce qui concerne les gîtes métallifères, ou les concentrations de substances minérales comme les phosphates, ce rôle est loin d'avoir été négligeable, non seulement pendant la période continentale actuelle, mais encore pendant toutes les périodes continentales qui ont pu précéder celle-ci.

Les modifications, qui peuvent se produire sur le

sol d'un continent comme la France, indépendamment des lacs et des cours d'eau et qui ont, en particulier, pour effet de former le sol arable, sont de diverses natures; je les passerai successivement en revue, en commençant par les moins importantes, pour m'étendre ensuite sur celles dont le rôle est essentiel. Nous examinerons donc : 1° la formation de la terre végétale; 2° les dépôts produits mécaniquement par le ruissellement, l'action des vents ou des glaciers; 3° l'altération sur place des terrains par des actions chimiques ou des circulations d'eau souterraines, qui peuvent s'étendre à de grandes profondeurs.

1° Le phénomène le plus ordinaire à la surface du sol, toutes les fois que la végétation s'y est établie, est la constitution de ce que l'on appelle la *terre végétale*, la *terre franche*, ou le *sol actif* des agriculteurs. Les débris des végétaux tombent à terre, pourrissent, forment de l'*humus* ou *terreau*, et se mélangent avec les poussières apportées par le vent, quelquefois avec les parties mobiles entraînées par le ruissellement des eaux ou la simple gravité, enfin avec des résidus d'altération du sous-sol géologique, pour constituer une couche superficielle légère, meuble, brunie ou noircie par les matières organiques, sur laquelle portent spécialement les travaux agricoles et que ceux-ci contribuent à modifier par un mélange avec des parties plus profondes, ramenées sous l'effort de la charrue. C'est dans ces couches superficielles qu'interviennent surtout, à titre accessoire, les débris de l'industrie humaine, fragments de tuiles ou de briques, etc. Dans cet ordre d'idées, par un effet d'apport insensible et continu, le sol se

relève tout particulièrement dans les dépressions et les plaines, où sont le plus souvent bâties les villes, et l'on y voit, par un phénomène bien connu des archéologues, de siècle en siècle, les parties basses des monuments s'enfouir, de période historique en période historique les villes successives se superposer les unes aux autres.

Quand on cherche à se rendre compte plus exactement de ce que c'est que *l'humus*, on se trouve en présence d'une substance mal définie, qui, d'après M. Berthelot, est un mélange de plusieurs matières différentes [1]. Son caractère principal est de présenter un enrichissement en carbone et un appauvrissement en eau par rapport à la cellulose des matières végétales (64 0/0 de carbone contre 44 0/0). On a supposé qu'une fermentation analogue à celle qui le produit avait pu, en se continuant, arriver à former ces substances de plus en plus carburées, qui sont le lignite, la houille et l'anthracite.

En même temps, le terreau contient, d'après Durand-Claye, par 1000 kil., 5 à 10 kil. d'azote organique, environ 0,1 d'azote ammoniacal et 0,15 d'azote nitrique, 4 à 12 d'acide phosphorique, 11 à 87 de chaux. Traitée par l'eau, la terre végétale abandonne environ 1 0/0 d'une substance jaunâtre, soluble, très importante pour la végétation, que l'on appelle *acide humique* à cause de sa propriété d'attaquer les calcaires et qui comprend, en réalité :

Matières organiques analogues à la glucose.....			47,5
Matières minérales	carbonate de chaux..	34	52,5
	sulfate de chaux.....	12	
	divers.....	6,5	

1. Berthelot, *C. R.*, 1893, t. 112, p. 166.

Sous cette couche de terre végétale, surtout importante pour les agriculteurs, d'autres phénomènes plus profonds de désagrégation superficielle produisent des effets qui intéressent toutes les applications de la géologie; car bien des travaux, même prolongés, ne dépassent pas cette zone altérée pour arriver aux terrains intacts. J'y reviendrai bientôt dans le paragraphe 3; mais je veux d'abord insister sur les phénomènes, en partie dus à la décomposition des matières organiques, qui produisent la première couche de terre à fleur de sol. C'est, en effet, une surprise pour bien des géologues néophytes que l'existence continue de ce manteau de couverture superficielle, dont on ne leur a pas parlé dans les cours et qui leur masque pourtant le sous-sol sur des étendues énormes. Le géologue doit montrer une certaine adresse pour savoir, à première vue, où il aura le plus de chances de faire des observations fructueuses, sans être gêné par ces terrains superficiels; où, au contraire, il est à peu près sûr de perdre son temps. C'est, par exemple, une notion courante que l'impossibilité où l'on se trouve, presque toujours, de reconnaître l'âge du terrain dans une forêt; — et je ne parle ici que des forêts de nos pays, me bornant, comme toujours dans cet ouvrage, aux phénomènes que l'on peut avoir l'occasion de constater sans voyages lointains : dans les régions tropicales et au milieu des forêts vierges, ce sont quelquefois des dizaines et des centaines de kilomètres que l'on parcourt sans apercevoir un instant le sous-sol géologique, masqué aux yeux par cette épaisse couche de pourriture organique, dont le déplacement par les travaux est d'une insalubrité si fameuse.

Dans les régions déprimées à faibles mouvements de terrains, à écoulement d'eau insuffisant, sur certains plateaux humides comme en Irlande, dans les vallées de la Somme, sur les pentes granitiques des Vosges ou de l'Auvergne et dans des pays entiers comme la Laponie, la Finlande, la Sibérie, où les neiges, en fondant à l'été, laissent le sol imbibé d'eau, la végétation peut prendre la forme de *tourbières*, quand l'eau est limpide et le sous-sol perméable; ailleurs, de marais ou simplement d'épais tapis de mousse et de lichens, si le climat est trop froid, comme en Sibérie; elle pousse dans une terre brune, noirâtre, faite des détritus accumulés des saisons précédentes, périssant par le pied, tandis que sa partie haute continue à croître et, là encore, c'est cette couche tourbeuse superficielle, qui, pour un grand nombre des applications pratiques, joue un rôle prépondérant, empêchant d'ailleurs absolument de connaître, à moins de fouilles coûteuses, le véritable sous-sol géologique.

Quelque chose d'analogue se passe, à un degré moindre, dans la plupart des vallées où existent des prairies. La terre noire des steppes de la Hongrie et de la Russie méridionale, épaisse de 0 m. 60 à 1 m. 30, paraît résulter de la décomposition des herbes, mêlée aux sables du sous-sol.

Tous ces phénomènes de décomposition végétale, intéressants à étudier quand on veut expliquer la formation de la houille, se traduisent par une introduction de matière organique, d'humus, et spécialement d'azote dans le sol. Les résidus animaux interviennent, en outre, parfois pour accroître la proportion de cet azote et pour y ajouter un élément de

première importance, l'acide phosphorique (grottes à ossements, îles à guano, etc.).

Cet azote des organismes végétaux et animaux a, une fois dans le sol, une tendance constante à se transformer en nitrate sous l'influence d'un microbe spécial, que l'on appelle le nitromonade [1], et une partie de ces nitrates passe dans les eaux. L'acide phosphorique se substitue, d'autre part, à l'acide carbonique des calcaires, et tend à former des phosphates.

2° En laissant maintenant de côté cette constitution de la terre végétale, il peut y avoir, à la surface, simple transport, déplacement des matériaux d'un point à un autre. Ce transport — en dehors du cas des cours d'eau et de leurs alluvions, dont je n'ai pas à parler ici — ne peut guère avoir lieu que par la simple gravité (aidée souvent par le ruissellement des eaux sur les pentes), par les vents ou, très accessoirement, par les glaciers.

L'*action de la gravité*, facilitée par toutes les causes de désagrégation que j'étudierai dans le paragraphe suivant, a pour tendance constante de faire descendre les matériaux meubles le long des pentes, c'est-à-dire de détruire les cimes, les escarpements, pour former des éboulis à flanc de coteau, ou des amas de débris dans le fond des vallées : ceux-ci pouvant être, à leur tour, entraînés par les cours d'eau dans la direction de la mer.

La conséquence de ces phénomènes se fait naturellement d'autant plus sentir que les pentes sont plus escarpées et plus dénudées ; très sensible dans les pays de montagnes, elle n'est jamais complètement négli-

1. Voir, à ce sujet, les travaux de Schlesing, Muntz, Winogradsky et, plus loin, le chapitre v.

geable, même dans les plaines, où le ruissellement des eaux après les pluies a pour effet nécessaire d'emporter une partie des terrains meubles, qui sont souvent les plus favorables pour l'agriculture et, notamment, de la terre végétale.

Cet entraînement constant de la terre végétale et de l'humus azoté vers les vallées, ou, plus généralement, vers les dépressions, enrichit peu à peu celles-ci, surtout dans les points de stagnation et, par suite, de précipitation des eaux, où les ruisseaux se débarrassent des particules les plus fines, qu'ils ont entraînées, et se purifient. Il forme, sur les pentes douces, des limons, généralement brunâtres, dits de ruissellement, qui, par exemple, aux environs de Lyon, atteignent 5 à 6 mètres d'épaisseur. Par contre, il appauvrit les parties hautes, qu'il dépouille rapidement de leur manteau fertile et dont il met à nu l'ossature stérile de rochers. C'est ainsi que, là où l'on ne fait rien pour lutter contre ce phénomène, des pays entiers peuvent rapidement se transformer en déserts. On sait comment, d'ailleurs, l'on s'oppose à cette descente des terres meubles en les emprisonnant, en les enlaçant par un réseau de racines, au moyen du reboisement. On soutient même les terrains disposés à s'ébouler par des claies, formant une série de gradins en escalier, ou par de petits murs en pierre sèche. C'est le procédé bien connu qu'emploient tous les habitants de l'Orient pour cultiver l'olivier sur des pentes de montagnes, en ménageant à chacun des arbres une étroite terrasse, soutenue par un mur en pierres ; c'est, en plus grand, le système de nos forestiers pour le reboisement des Cévennes.

En même temps qu'il retient les terres, le reboise-

ment attire l'humidité des nuages et augmente la proportion des pluies; il fournit au sol un engrais par l'azote de l'air qu'il fixe et accumule dans ses détritus; il a donc pour effet, comme nous l'avons vu, de constituer une couche précieuse de terre végétale.

L'*action des vents* est, en moyenne, beaucoup moins sensible que celle de la gravité. On en éprouve surtout les effets dans certaines régions spéciales, au voisinage des côtes, dans les zones desséchées qui constituent les déserts, ou sur certaines montagnes. Elle se traduit principalement par le transport de particules sableuses, qui forment des dunes, contre le cheminement desquelles on lutte par des semis d'arbustes, puis par des plantations de pins. En outre, le vent pousse les nuages, par lesquels certains éléments, tels que des particules de sel empruntées à la mer, parfois même de fines poussières comme les cendres volcaniques, peuvent être transportés à l'intérieur des continents.

L'*action des glaciers* est considérable, mais très locale et ne se fait guère sentir en grand que sur des périodes géologiques proprement dites. On sait que les glaces des glaciers cheminent constamment, comme une substance plastique soumise à la pression de sa propre masse, et descendent en suivant le fond en pente du thalweg où le glacier s'est formé; elles transportent ainsi d'énormes blocs, qui s'accumulent dans leurs moraines, en constituant, après la fusion des glaces, ce qu'on appelle des *blocs erratiques*; ainsi l'on a trouvé, dans toute l'Allemagne, des roches apportées jadis par les glaces de Norvège ou de Finlande.

3° En dehors du transport des matériaux, dû pour une grande part à l'action mécanique des eaux, il y a transformation continuelle des couches superficielles du sol par des phénomènes beaucoup plus importants, ayant une action bien plus profonde, quoiqu'ils se produisent sans déplacement, et se traduisent, avant tout, par des réactions chimiques. Ces phénomènes, sur lesquels nous devons insister, sont encore, en grande partie, le résultat direct ou indirect de la circulation des eaux, mais ici de leur circulation souterraine. Il y a lieu, en outre, de signaler le rôle des organismes, surtout des végétaux, accessoirement des animaux et des ferments, dans la constitution de ces terrains superficiels d'origine chimique.

L'eau, qui tombe sur la terre sous forme de pluies, de neiges ou de brouillards, pénètre, en grande partie, dans le sol, qui s'en trouve complètement imbibé, même dans les pays les plus secs, au-dessous d'une certaine profondeur, sur laquelle porte l'aspiration, l'action desséchante de l'atmosphère. C'est un fait bien connu que, toutes les fois que l'on creuse une tranchée ou un puits suffisamment profonds dans le sol, on y rencontre de l'eau. Au-dessous d'un certain niveau, que l'on appelle le *niveau hydrostatique* (niveau d'ailleurs compliqué par l'inégale perméabilité des terrains et variable, dans une certaine mesure, avec les conditions météoriques superficielles), un vide quelconque, ouvert dans le sol, est toujours sûr de se remplir d'eau [1]. On définit donc le niveau hydrostatique : la surface jusqu'à laquelle les eaux s'élèvent naturellement dans le sol par leur

1. Je renvoie, pour les détails concernant cette question, à mon *Traité des sources thermo-minérales*, p. 24 et uisv.

pression propre, lorsqu'un régime stable s'est établi dans les terrains, à la suite d'une période de sécheresse prolongée. Bien entendu, de fortes infiltrations d'eau, par la chute des pluies, ont pour effet de relever momentanément ce niveau des eaux, qui peuvent même imprégner momentanément tout le sol jusqu'à la surface; c'est l'équivalent des crues dans une rivière, tandis que le niveau hydrostatique est défini au moment de l'étiage.

Ce niveau hydrostatique, on le conçoit aussitôt, va

Fig. 4. — Coupe verticale théorique montrant la disposition relative du niveau hydrostatique XY et de la superficie XA, dans le cas simple de terrains homogènes.

se raccorder avec le niveau de la mer et avec celui des fleuves, au-dessous desquels le sol, à moins de présenter une imperméabilité exceptionnelle, est nécessairement imbibé d'eau dans toute sa masse : sans quoi le fleuve ne coulerait pas, mais se perdrait dans le sol par toutes ses fissures. Plus le terrain devient accidenté, dans les pays de montagnes, plus le niveau hydrostatique XY s'éloigne de la surface (fig. 4). Il se produit, en effet, dans les montagnes, sur toute la zone située au-dessus de XY, un drainage rapide des eaux qui les attire vers les vallées, en sorte que, pendant une période sèche, on pourra faire en A un puits descendant jusqu'en B sans rencontrer d'eau, tandis qu'en X la moindre fouille trouverait l'eau

aussitôt. Tous les mineurs ont pu éprouver ce phénomène dans leurs travaux.

J'ajoute que, lorsque le terrain présente des alternances de couches poreuses et imperméables, comme des sables et des argiles, le phénomène se complique[1]; l'eau peut même être emmagasinée sous pression au-dessous d'une couche d'argile, comme dans une nappe artésienne, et empêchée d'atteindre son niveau hydrostatique théorique, vers lequel elle monte pourtant, dès qu'on lui ouvre une issue par un puits ou par un sondage.

La considération de ce niveau hydrostatique a une importance capitale dans l'étude de tous les phénomènes superficiels. Au-dessous de lui, en effet, les eaux se déplacent et se renouvellent avec infiniment plus de lenteur qu'au-dessus, où, par hypothèse, il y a circulation constante, drainage continu vers la surface. Étant donné la longue durée des réactions que nous allons étudier, l'importance essentielle de cette durée pour leur achèvement complet et le peu de temps écoulé depuis le moment où elles ont pu commencer (la terre ayant pris son relief actuel), on est presque en droit de considérer, par approximation, ces eaux profondes comme immobiles. Tout au moins leur mouvement, qui existe, est-il très faible.

Or, ainsi que nous allons le voir, toute l'action chimique des eaux tient à l'oxygène, à l'acide carbonique ou aux autres sels, chlorures, nitrates, etc., qu'elles emportent de l'air et de la superficie[2]. On

1. Voir plus loin, page 152, fig. 12.

2. Peligot a constaté qu'un litre d'eau de pluie contient en dissolution 25 centimètres cubes de gaz, dont 31,20 0/0 d'oxygène et 2,40 0/0 d'acide carbonique, c'est-à-dire une quantité

peut donc prévoir que ces eaux profondes, immédiatement dépouillées de cet oxygène, de cet acide carbonique et de ces sels par l'altération même qu'elles produisent sur les premiers terrains traversés, n'ont plus qu'une action insignifiante sur les terrains rencontrés dans la suite.

Ceux-ci, au-dessous du niveau hydrostatique, se comportent comme un morceau de bois séjournant au fond de l'eau, qui ne se corrompt pas, tandis qu'on voit immédiatement pourrir celui qui est soumis à des alternatives de sécheresse et d'humidité.

D'autre part, dans cette zone profonde, la température reste constante; on échappe aux variations continuelles et aux gelées, que nous allons voir exercer leur influence destructive sur les terrains de surface.

Pour toutes ces raisons, la zone profonde, dont il s'agit, échappe à peu près complètement au genre de phénomènes que nous étudions en ce moment, et nous la laisserons de côté.

Si nous restons maintenant au dessus du niveau hydrostatique, il est aisé de voir que toute l'épaisseur du terrain, depuis la surface jusqu'à ce niveau, n'est pas dans les mêmes conditions. Il y a, d'abord, au-dessous de la mince couche meuble formée par les pourritures végétales mêlées aux apports mécaniques, une partie, encore tout à fait superficielle, où l'oxygène est en abondance et où se produisent surtout les actions oxydantes : c'est la *zone d'oxydation*, bien

plus notable de ces deux gaz qu'il n'en existe proportionnellement dans l'air atmosphérique. En outre, comme l'a fait remarquer M. Van den Broek, l'eau de pluie, pendant son infiltration dans un sol végétal, s'assimile une quantité supplémentaire, souvent considérable, d'acide carbonique.

caractérisée dans tous les gisements métallifères, zone sur une partie de laquelle portent, en même temps, les influences physiques de désagrégation et, le cas échéant, les fermentations d'organismes. Au-dessous, on a ce qu'on peut appeler *la zone de cémentation* dans les gîtes métallifères, ou *de décalcification* dans les terrains calcaires : zone où se produisent les réactions chimiques les plus complexes.

En sorte que, de haut en bas, on peut trouver quatre zones d'inégale importance, dont les deux premières surtout sont reliées par des transitions insensibles :

1° Couche mince de terre végétale.

2° Première zone tout à fait superficielle d'oxydation, soumise, dans sa partie supérieure, à la désagrégation physique : zone caractérisée par la suroxydation du fer et, quand il s'agit de gîtes métallifères, par la présence des métaux natifs, oxydés, carbonatés, ou chlorurés.

3° Zone beaucoup plus importante de cémentation, de décalcification et, plus généralement, de réactions chimiques complexes, pouvant présenter, à la base, et même un peu au-dessous du niveau hydrostatique, une augmentation de certaines substances, qui ont été dissoutes à la partie supérieure et entraînées dans la descente des eaux.

4° Zone d'équilibre inaltérée, au-dessous du niveau hydrostatique.

Avant d'insister sur les réactions chimiques, dont le rôle est prépondérant dans notre étude actuelle, je dirai d'abord quelques mots de ce que j'appelle la *désagrégation physique.*

Les terrains superficiels sont soumis à diverses

actions, qui ont toutes pour effet de les effriter : c'est, par exemple, la congélation de l'eau, qui les imprègne et se dilate en se solidifiant; ce sont les seules alternatives, très souvent répétées, de froid et de chaud, qui finissent par faire éclater les roches et les diviser en menus fragments. Ainsi se forment, sur les hautes cimes de certaines montagnes, ces chaos de blocs, que tous les alpinistes ont pu remarquer.

La gravité, le ruissellement des eaux, ou la force du vent, peuvent alors s'emparer de ces matériaux rendus meubles et les entraîner plus aisément vers les vallées.

Si nous revenons maintenant aux *réactions chimiques*, nous allons, en examinant tour à tour des terrains de diverses natures, puis des gîtes minéraux, préciser ce qui les concerne et essayer d'en tirer des conclusions pratiques.

Prenons, par exemple, un *granite*, ou une roche du même genre. Ce granite se compose, minéralogiquement, de trois éléments : quartz, mica, feldspath, dont les deux premiers ne s'altèrent pas sous l'action des eaux superficielles, tandis que le dernier se décompose et se désagrège en se kaolinisant, c'est-à-dire en formant une argile. Dans le cas ordinaire, le feldspath décomposé est entraîné par le ruissellement des eaux; le granite perd sa cohésion, et il se produit un terrain meuble, une sorte de sable, qu'on appelle une *arène granitique*, au milieu duquel des parties plus résistantes constituent des boules, des blocs parfois énormes. Cette arène peut, dans nos climats, atteindre quinze à vingt mètres d'épaisseur. Peu à peu, ces blocs restent seuls en saillie et prennent, sur les montagnes granitiques, l'aspect de ruines cyclopéennes. Dans l'arène même, les eaux, qui ne pénètrent pas

bien profondément, s'éparpillent en d'innombrables filets, formant autant de sources. C'est pourquoi les habitations, dans les pays de granite, n'ont pas besoin de se grouper autour d'un puits profond, entrepris à frais communs, et les fermes y sont généralement disséminées.

Dans les propriétés situées sur le granite, il y a généralement lieu d'assainir en drainant les eaux superficielles et leur assurant un écoulement. En même temps, comme le granite contient, pour la vie des plantes, une proportion insuffisante de chaux, qui, dans l'arène décomposée, a même complètement disparu par dissolution, on améliore le terrain par le chaulage.

Exceptionnellement, avec certaines variétés de granite à mica blanc, particulièrement riches en feldspath et exemptes d'éléments ferrugineux, la décomposition superficielle de la roche peut former du vrai *kaolin*, bon pour la fabrication de la porcelaine. Cette décomposition se produit parfois à de grandes profondeurs le long de filons compacts, comme des filons de quartz, que les eaux sont obligées de suivre, ne pouvant les traverser, surtout si l'on est au milieu de schistes, propres par leur feuilletage à la facile pénétration de ces eaux. Elle semble facilitée près des filons d'étain, peut-être par l'intervention de faibles traces fluorées, qui existent dans les minéraux de ces filons.

Au lieu de granite, quand on a des roches basiques, ferrugineuses, comme des serpentines, des diorites, des basaltes, des porphyrites, etc., la décomposition superficielle donne aisément de grandes épaisseurs d'une argile jaune, brune ou rouge. Ainsi les affleurements des filons de *porphyrite* sont, presque toujours,

entièrement pourris, méconnaissables et ressemblent à des veines boueuses ; il en est de même pour beaucoup de veines amphiboliques dans les terrains schisteux. La décomposition des *serpentines* donne lieu aux poches d'argile rouge, dans lesquelles on trouve tous les minerais de nickel, cobalt et chrome de la Nouvelle Calédonie.

C'est très probablement aussi un phénomène de ce genre qui a formé, dans nos deux colonies de la Guyane et de Madagascar, sous l'influence des abondantes pluies tropicales et aux dépens de diorites, les épaisseurs d'argile appelées en Guyane la *terre à ravets* ou le *cascajo*, à Madagascar la *terre rouge*, au milieu desquelles on trouve parfois de l'or, qui paraît, pour une grande part, le résidu de veines et de paillettes aurifères incluses dans ces roches basiques, dont la décomposition a fait l'argile. Cette argile rouge de Madagascar se fend à la surface par dessiccation; les eaux pénètrent dans les fissures et il se produit des éboulements, avec un aspect profondément raviné du terrain, qui se retrouve en plus petit dans tous les terrains argileux : argiles rouges de la base du tertiaire en Limagne, argiles grises des régions solfifères en Sicile, etc.

Aux Indes, les coulées basaltiques du Dekkan ont donné, de même, sur une épaisseur de dix à soixante mètres, une terre rouge brique, connue sous le nom de *latérite*.

Dans le cas des terrains sédimentaires, il y a lieu de distinguer ceux qui ne sont pas altérables chimiquement, comme les quartzites [1], sur lesquels il se

1. La silice des silex se dissout elle-même lentement et les rend poreux et friables.

produit alors un simple effritement mécanique, produisant des sables, parfois accompagné d'un changement de couleur par oxydation du fer (Ardennes, Bresse, etc.), ou les schistes, qui donnent des argiles par une transformation inverse de celle qui a jadis métamorphisé les argiles en schistes et ceux, au contraire, qui se prêtent à une action chimique, comme les silicates alcalino-terreux ou ferrugineux, qui peuvent entrer dans la composition de certains terrains schisteux et surtout comme les carbonates des calcaires.

Dans les *terrains sableux*, il peut y avoir descente d'eaux, chargées à la surface de fer sous forme de sels organiques et reprécipitation de ce fer à l'état de sesquioxyde à une certaine profondeur. En rapport avec l'évaporation superficielle, il se produit aussi une croûte dure ferrugineuse, un mâchefer, ou *alios*, bien connu dans les Landes, où il entretient, par son imperméabilité, la stagnation des eaux superficielles.

De même, les couches d'alluvions, qu'on appelle le diluvium, autour de Paris, forment en profondeur un niveau gris, qui semble raviné par un diluvium rouge, simple altération et suroxydation du premier.

Ce sont là des cas particuliers de ce qu'on peut appeler la remise en mouvement facile des sels de fer. Généralement, en présence d'une eau superficielle chargée d'oxygène et d'acide carbonique, on voit les sels de fer, contenus dans les terrains, commencer par se dissoudre sous forme de sels de protoxyde, puis reprécipiter, au voisinage de la surface, du sesquioxyde de fer rouge, qui produit une rubéfaction aisément reconnaissable. Si ce sesquioxyde s'hydrate, il donne la teinte jaunâtre ou brune de l'hématite

brune. Si le terrain contenait du manganèse, on a la couleur noire caractéristique des peroxydes de ce métal.

Quand il y a de la chaux dans un sable ou une argile, celle-ci commence par se dissoudre en bicarbonate [1], mais peut se reprécipiter, soit en enduits ou veinules près de la surface, soit, au contraire, dans une zone plus profonde, qui se trouve présenter un enrichissement en chaux au-dessous de la partie décalcifiée. On a bien observé ce phénomène dans les limons appelés *loess* et dans certains sables calcaires de Belgique : il correspond à une concentration analogue, que nous observerons pour le cuivre et que nous qualifierons alors de cémentation.

Finalement, ces phénomènes se traduisent, presque toujours, par la formation d'un silicate d'alumine, c'est-à-dire d'une argile, d'un limon plus ou moins ferrugineux, avec mélange possible de sable quartzeux.

C'est ainsi que les plateaux des terrains de *micaschistes*, dans le Plateau Central, sont toujours entièrement couverts, parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur, d'un limon brun, dans lequel restent épars, sous forme de cailloux, les quartz, qui pouvaient exister à l'état de lentilles dans le terrain inaltéré. Quiconque a essayé de faire une observation géologique sur une région de micaschistes sait que la roche fraîche, inaltérée, apparaît seulement dans les vallons, les plateaux étant entièrement couverts d'un limon à cailloux de quartz, sorte d'argile à silex assez maigre, sur laquelle poussent volontiers les châtaigniers.

1. Un phénomène de ce genre a fait disparaître tous les fossiles calcaires de certaines couches sableuses; mais, par contre, il fait apparaître en relief des fossiles agatisés, plus durs que le calcaire encaissant.

De même, on voit, en quelques années, les fragments de schistes houillers se réduire à l'air en une pâte argileuse plastique.

Dans les *calcaires*, ce genre de réactions chimiques atteint son paroxysme.

Les calcaires ont toujours tendance à se dissoudre, en laissant un résidu, qui provient des silicates d'alumine et de fer contenus primitivement dans le terrain, même lorsque le calcaire paraît d'abord le plus blanc et le moins ferrugineux. Ce fer, étant suroxydé, donne une teinte rouge. C'est ainsi que se constitue, par décalcification, l'argile rouge, qui remplit des poches sur tous les terrains de craie de Normandie et qui, pour un motif identique, couvre le sol de toutes les cavernes. On peut rapprocher de ces argiles de décalcification les « argiles à silex », en partie éocènes, qui couvrent, sur de très grandes étendues, les plateaux de Normandie, du Perche, de l'Orléanais, etc., à la périphérie du bassin de Paris : argiles pour la formation desquelles on a également supposé à tort une action de transport.

Dans toutes ces décompositions de terrains calcaires, comme, du reste, dans l'attaque d'une roche quelconque, les fissures servent tout naturellement à l'accès facile des eaux, en sorte que les poches de décomposition s'allongent suivant ces fissures avec un certain air de filons, ou s'enfoncent en entonnoirs, en puits (orgues naturels), sur l'intersection de deux fractures, ou diaclases. Le phénomène est toujours nettement limité en profondeur, et, quand on peut l'observer sur une coupe, présente les formes les plus irrégulières, ayant pénétré dans le calcaire qu'il attaquait sur des épaisseurs très variables (fig. 5 et 6).

On a remarqué qu'il y avait d'abord, à la partie supérieure, argile rouge, c'est-à-dire suroxydation et,

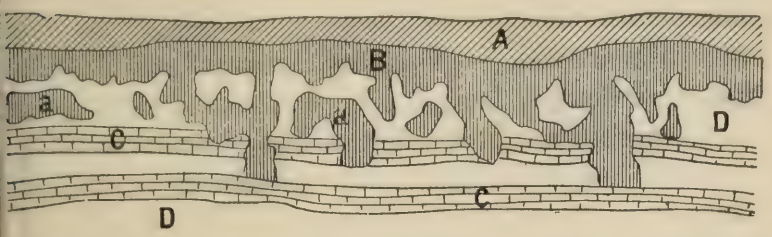


Fig. 5. — Coupe verticale montrant l'allure de l'altération superficielle dans les calcaires, d'après Van den Broek — A, Terrain détritique; — B, Résidu altéré du calcaire grossier; — C, Bancs durs calcaires; — D, Calcaire grossier moyen; — a, Poches isolées de sédiments altérés.

plus profondément, simple altération chimique par décalcification.

Il est à noter que, lorsque le calcaire était primiti-

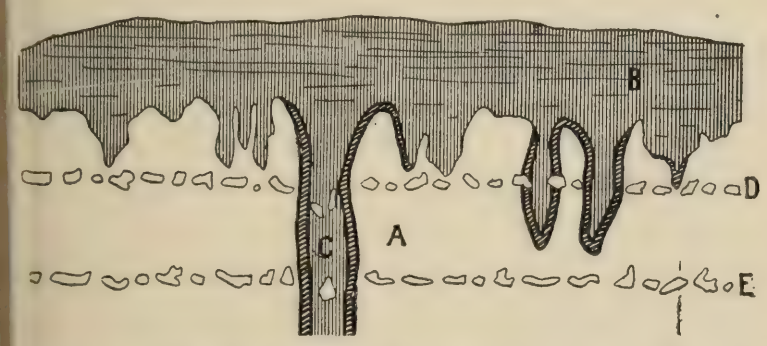


Fig. 6. — Coupe verticale théorique, montrant la disposition des puits naturels dans la craie à Eaton (Norwich), d'après Lyell; A, Calcaire intact avec cordons de silex D, E; — B, Résidu de décomposition argileux, formant un puits en C.

vement magnésien, il tend à le devenir de plus en plus dans cette altération, la magnésie étant beaucoup moins soluble que la chaux : phénomène qui a pu contribuer à la composition, toujours magné-

sienne, des calcaires encaissant les grands gîtes de plomb et de zinc.

E. **Altération superficielle des gîtes minéraux et métallifères. Aspect de ces gîtes aux affleurements.** — Tous les phénomènes d'altération superficielle, dont il a été question dans le paragraphe précédent, présentent une importance capitale, quand il s'agit de gisements minéraux et métallifères, dont ils ont toujours pour effet de modifier la nature sur les affleurements, où on les observe d'abord, et j'ai dit ailleurs quelle influence essentielle un terrain encaissant calcaire pouvait avoir sur la constitution des gîtes, en insistant sur les conséquences, qui en résultaient pour cette question (si souvent vitale en industrie minière), des variations d'un gîte métallifère en profondeur[1].

Ce n'est pas ici le lieu de décrire tout au long ces phénomènes d'altération relatifs aux gîtes métallifères, dont on a peine à se représenter tout le développement, et sur lesquels j'aurai d'ailleurs à revenir dans le chapitre VIII. Je me bornerai, comme je l'ai fait jusqu'ici, à quelques exemples caractéristiques, en rappelant seulement que, dans certains cas assez rares, des altérations superficielles, remontant à une époque géologique ancienne et en relation avec une surface du sol différente de la surface actuelle, ont pu laisser leur empreinte dans des régions où elles se sont trouvées soustraites aux effets postérieurs de l'érosion.

Nous supposerons, tour à tour, le cas d'un gisement de sel, de gypse, de phosphate de chaux, de houille,

1. Contribution à l'étude des gîtes métallifères (*Annales des Mines*, 1897). Voir également : Variations des filons en profondeur (*Revue générale des Sciences*, 30 avril 1900).

de minerai de fer, de manganèse, de cuivre, de plomb, de zinc, d'argent et d'or.

Quand il existe, dans le sol, une substance soluble, comme le *sel gemme* ou la *pierre à plâtre*, elle a toujours une tendance à se dissoudre à la surface et, en partant de cette surface, la dissolution peut s'étendre progressivement aux parties profondes en laissant un vide à la place des dépôts disparus, ce qui entraîne l'éboulement des terrains superposés. Il en résulte que l'existence profonde de ces gîtes solubles se traduit souvent par les phénomènes suivants : lignes d'étangs sur les affleurements, où se sont créées des dépressions ; dislocations et effondrements des terrains de la région, qui semblent avoir subi des actions mécaniques d'une grande amplitude, en réalité très locales ; impureté des eaux de source, qui sont salées ou séléniteuses (c'est-à-dire chargées de sulfates de chaux). Mais la substance utile elle-même n'apparaît pas à la surface, ou n'y apparaît qu'en quantités relativement faibles ; il faut aller la chercher par des travaux profonds.

Contrairement à ce qui arrive pour les sels solubles, le *phosphate de chaux*, plus résistant à la dissolution que les terrains plus ou moins calcaires dans lesquels il peut être renfermé, subit un enrichissement à la surface, et, pour bien des gîtes, ces parties des affleurements, où le phosphate a subi une concentration, sont les seules exploitables.

Ce phosphate de chaux se présente, dans nos pays, sous deux formes principales : en nodules, en boules dures, parfois grises, parfois, au contraire, luisantes et métalliques et, d'autre part, en craie brune piquetée. Dans les deux cas, l'enrichissement peut être notable.

Pour les nodules, le terrain encaissant, se décalci-

fiant, se transforme en un limon et l'on a ainsi l'aspect des affleurements de l'Auxois : un limon, avec des boules dures de forme irrégulière. On peut même noter, à ce propos, que, toutes les fois qu'on rencontre un aspect de ce genre dans un terrain (des boules dans un limon), il peut y avoir intérêt à vérifier si ces boules ne seraient pas phosphatées : ce qui arrive très souvent.

Dans les craies phosphatées, l'enrichissement, remontant à une époque géologique ancienne, a produit les poches de sables phosphatés qui ont fait, depuis dix ans, la fortune de tant de pays dans le Nord de la France (Belgique, Somme, Oise, etc., Ciply, Beauval, Hardivilliers, Baudour, etc.). Des craies à 30 ou 35 0/0 de phosphate se sont trouvées, par la décalcification naturelle, donner des sables phosphatés riches à 65 ou 68 0/0.

Sur les affleurements des couches de *houille*, le charbon est généralement de mauvaise qualité, éventé, décomposé et, c'est un des cas où les mineurs peuvent appliquer avec raison la superstition courante, sur laquelle ils échafaudent tant d'espérances : cette idée, enracinée chez tous les chercheurs de mines, et souvent si fausse, qu'un gîte gagne toujours de valeur quand on descend au-dessous de la partie superficielle.

Avec le *fer*, on part souvent du sesquioxyde hydraté, qui est l'hématite brune, minerai brun ou jaune, souvent caverneux, pour passer au sesquioxyde anhydre, dont la poussière a une belle teinte rouge. Ce minerai, dans les gisements encaissés au milieu des calcaires, se transforme fréquemment en sidérose dans la profondeur et, quand on arrive au-dessous du

niveau hydrostatique, il n'est pas rare de voir l'hématite ou la sidérose, de plus en plus sulfureuse, passer à la pyrite de fer. Dans les terrains schisteux, l'hématite recouvre souvent des masses de pyrite de fer. En conséquence, un gisement de pyrite de fer est presque toujours masqué par ce qu'on appelle un *chapeau* d'oxyde de fer, qui peut avoir 15 ou 20 mètres d'épaisseur. Les caractères sont un peu différents pour les minerais cristallisés des terrains métamorphiques, par exemple en Laponie et en Suède, qui se composent d'oligiste et de magnétite jusqu'à la surface, la remise en mouvement du fer ayant présenté, dans ce cas, peu d'intensité.

Avec le *manganèse*, les minerais superficiels sont des oxydes, souvent chargés de barytine, dont les teintes noires sont très caractéristiques. Quand on s'enfonce, il arrive de trouver des carbonates ou silicates, dont les nuances roses n'attirent pas l'attention, mais qui, exposés à l'air et à la pluie, se couvrent très rapidement d'une patine noire. Souvent aussi le manganèse disparaît en profondeur.

Les affleurements d'*étain* et *d'antimoine* sont généralement caractérisés par des taches jaunes cireuses ou jaunes verdâtres sur les roches encaissantes, souvent granulitiques.

Avec la plupart des métaux, qui se présentent dans la nature associés au soufre, on a, sur la zone d'affleurements métallifères, une décomposition de toutes les roches encaissantes, qui décèle vite à un œil exercé l'existence d'un gîte important.

Il est, en effet, facile de concevoir qu'une grande masse sulfurée, et particulièrement une masse pyrieuse, exposée aux eaux de pluie, donne nécessairement

des eaux très acides, très chargées d'acide sulfurique par l'oxydation du soufre. C'est, dès lors, dans un véritable bain de vitriol qu'ont trempé, pendant des années et des siècles, toutes les roches avoisinantes. Il en est résulté, pour elles, une altération profonde, qui les rend tout à fait méconnaissables et leur a fait parfois donner, faute de pouvoir les déterminer, un nom correspondant à leur forme altérée : ainsi les soi-disant propylites de Hongrie ou du Comstock, aux États-Unis. Autour des grandes mines de pyrite de fer cuivreuse du Rio Tinto, dans le sud de l'Espagne, le phénomène est également très accentué.

Parfois les eaux acides et chargées de métaux, en circulant à la surface ou à faible profondeur dans les terrains, ont produit ce qu'on appelle une remise en mouvement de ces métaux, qu'une cause chimique quelconque, notamment la présence d'un calcaire ou d'une substance organique réductrice, a pu amener à se reprécipiter à une certaine distance, en constituant des dépôts dits secondaires. Ces dépôts secondaires, presque constants pour le fer, fréquents encore pour le cuivre, ont été reconnus, dans certains cas plus exceptionnels, même pour des métaux dont on est habitué à considérer les sels comme insolubles, tels que le plomb ou l'or.

C'est ici le lieu d'appeler l'attention sur la facilité avec laquelle des réactions lentes, mais très longtemps prolongées, arrivent à dissoudre les substances, pour lesquelles on s'attendrait le moins à un pareil phénomène. Ainsi les silex s'altèrent constamment par dissolution ; l'on connaît des recristallisations de barytine sur des fossiles, de sulfure d'antimoine dans des couches sédimentaires, de galène et de cérusite

dans des grottes, de cuivre natif sur des bois de mine, des stalactites de fluorine dans des galeries, etc., et, pour l'or même, on est amené à admettre que des cristaux ont pu être ce qu'on appelle nourris, c'est-à-dire grossis par une précipitation récente d'or en dissolution sur un cristal d'abord plus petit.

Examinons rapidement les divers métaux ordinairement associés au soufre dans leurs gisements : cuivre, plomb, zinc, argent, or, etc.

Le *cuivre*, dans la zone d'oxydation superficielle, se caractérise par les belles couleurs vertes et bleues de ses sels carbonatés; on y trouve également de l'oxyde, du cuivre natif; les minerais complexes de la profondeur se sont simplifiés, ils ont perdu une forte proportion du soufre et de l'arsenic, avec lesquels ils pouvaient être combinés. En même temps, les sels de cuivre, et particulièrement le sulfate, étant solubles, il y a eu perte d'une partie de ce cuivre dans les eaux des ruisseaux, où, souvent, on constate la présence du métal à des teintes vives qui rappellent les bocaux d'un pharmacien ; une autre partie a pu se reprécipiter à une certaine distance du gisement primitif. Les carbonates prennent de l'importance quand le gîte est encaissé dans un terrain calcaire dont l'acide carbonique s'unit au cuivre. En pareil cas, le calcaire ayant été soumis à la décalcification habituelle, on a, dans une argile rouge, des blocs de malachite et d'azurite (carbonates de cuivre), avec d'autres minerais oxydés des divers métaux, qui pouvaient être alliés au cuivre. S'il y a des matières organiques, elles amènent souvent la précipitation du cuivre natif.

Au-dessous de cette zone d'oxydation, souvent

réduite à très peu de chose, on entre dans la zone complexe des cémentations, qui va durer jusqu'au niveau hydrostatique[1]. Là, on trouve souvent le groupement du cuivre gris (en réalité, plutôt noir que gris) avec la sidérose : groupement qui correspond en profondeur à l'association des pyrites de cuivre et de fer antimonieuses ou arsenicales. On a aussi des boules de chalcopyrite, dont le noyau encore intact, à 30 0/0 de cuivre, est entouré de phillipsites irisées à 50 ou 70 0/0 de cuivre et de chalcosines à 80 0/0, c'est-à-dire qu'il s'y est produit une cémentation, une concentration du cuivre par suite de la disparition d'une partie du soufre et du fer, etc.

Les gisements de *plomb*, toujours formés de sulfure (ou galène), au-dessous du niveau hydrostatique, peuvent, au-dessus de celui-ci, donner des carbonates (ou cérusites) quand ils sont en présence de calcaires. Sinon, les sels de plomb étant peu solubles, l'altération des filons plombeux est généralement assez faible à la surface; on a seulement un peu de sulfate (anglésite), de carbonate (cérusite) et surtout la décomposition de la pyrite, qui peut accompagner la galène, la kaolinisation des éléments feldspathiques, etc., donnent aux affleurements plombeux, comme à la plupart des affleurements sulfureux, un air de veines boueuses plus ou moins jaunâtres, qui peut en faire méconnaître la vraie nature.

La *zinc* est également toujours en sulfure, en blende dans la profondeur et fait souvent partie d'un groupement complexe : Blende, Pyrite, Galène (par abréviation B. P. G.). Au-dessus du niveau hydrostatique,

1. Voir plus haut, page 50, la définition de ce niveau hydrostatique.

dans les calcaires, cette blende a été transformée en calamine et, même dans un terrain quelconque, il peut y avoir une petite croûte extérieure de calamine, qui donne à l'affleurement un aspect grisâtre et terreux.

Je n'ai pas besoin de rappeler que le niveau hydrostatique peut, dans un pays accidenté, se trouver à plusieurs centaines de mètres de la surface; en outre, l'altération a pu se produire à une époque géologique antérieure à la nôtre, alors que le relief du sol et, par suite, le niveau hydrostatique étaient différents.

Il y a donc nombre de grands gisements de calamine, où l'on n'a pas eu à constater pratiquement l'apparition prévue de la blende en profondeur, d'autant plus que, lorsque celle-ci tend à se montrer, l'appauvrissement du minerai, accompagné d'un envahissement par les eaux, qui accroît les frais d'épuisement, amène souvent l'arrêt des travaux.

Dans les gisements d'*argent*, on retrouve les trois zones principales définies en théorie et si bien caractérisées pour les gîtes de cuivre :

1° A la surface, au milieu d'argiles terreuses, les oxydes d'argent — accompagnés de chlorures, bromures, iodures, etc., quand des eaux salines paraissent avoir contribué à l'altération — avec de l'argent natif et parfois des oxydes de fer, de manganèse ou de cuivre, si le gisement profond contient ces métaux; c'est la zone de suroxydation, généralement appauvrie en argent par suite du départ d'une fraction de celui-ci à l'état de sel dissous.

Puis, 2° la zone des cémentations complexes, des réactions chimiques, où un grand enrichissement en argent s'est produit, tant par un phénomène relatif

(en raison de la disparition d'autres métaux) que par un phénomène absolu, une portion de l'argent dissous à la surface ayant dû descendre avec les eaux et recristalliser en profondeur : là sont des sulfures et sulfo-antimoniures d'argent.

Enfin, 3° la zone profonde sous le niveau hydrostatique, où l'on trouve les combinaisons primitives, dans lesquelles ont pu être engagés l'argent, l'arsenic et l'antimoine, avec les autres métaux : fer, cuivre, zinc, plomb, qui ont plus ou moins complètement disparu à la surface. Cette troisième zone marque toujours un appauvrissement très sensible, après l'enrichissement de la seconde.

Quand il s'agit de l'*or*, ce métal étant presque toujours combiné en profondeur avec les pyrites, on peut trouver, à la surface, de l'oxyde de fer sous forme d'hématites ou d'ocres aurifères ; une grande partie de la pyrite a, d'ailleurs, complètement disparu des affleurements et marque seulement sa trace par les innombrables trous cubiques, dont la roche encaissante (en général, un quartz) se trouve criblée aux endroits où cette pyrite existait. Dans cette dissolution des sels de fer, l'or inclus s'est trouvé mis en liberté et, peut-être à la faveur des réactifs chimiques que cette dissolution introduisait dans les eaux, lui-même paraît s'être dissous pour se reprécipiter dans des conditions plus favorables sur certains cristaux d'or, qu'il a nourris et grossis progressivement. Aussi l'on trouve, au-dessus du niveau hydrostatique, ces magnifiques cristallisations d'or libre dans les fissures et les géodes des quartz, que les Anglais comparent à une vitrine de joaillier (jeweler's shop). Quand on s'enfonce et qu'on passe sous le niveau

hydrostatique, il y a toujours appauvrissement des filons d'or. D'une part, ces beaux cristaux d'or natif, ces pépites disparaissent; la teneur absolue en or de la roche semble diminuer et, d'autre part, l'or, qui subsiste, se présente dans des conditions beaucoup moins favorables au traitement métallurgique. Au lieu d'être libre et directement amalgamable, il est renfermé dans des minerais compliqués, pyrites souvent arsenicales, sulfures de métaux divers, pour lesquels il faut employer d'autres procédés plus coûteux, et qui, parfois, restent pratiquement rebelles à tous les traitements.

CHAPITRE III

Des cartes et coupes géologiques.
A. Comment on les fait. — B. Comment on les utilise.

Toute application pratique de la géologie, comme toute recherche théorique, suppose, au préalable, la confection de cartes et de coupes géologiques, plus ou moins étendues, plus ou moins détaillées : l'un de ces deux éléments d'étude ne pouvant guère aller sans l'autre. Je ne saurais songer à donner ici le moyen d'établir réellement une carte géologique : ce qui suppose, en général, des connaissances techniques très étendues; il y a pourtant, ce me semble, quelque intérêt à indiquer par quelle méthode on exécute une carte semblable, ne fût-ce que pour essayer d'éviter aux savants, chargés de ce service en France, des soupçons ridicules d'espionnage, que leur attirent parfois leurs courses insolites à travers monts et vaux. En pays neuf, un explorateur non géologue peut, d'ailleurs, s'il est attentif et bon observateur, arriver à rapporter une série de coupes sommaires suivant ses itinéraires, qui, jointes à des échantillons bien choisis et bien étiquetés, fourniront au retour des indications précieuses aux spécialistes. Et surtout,

dans le cas, très général pour notre pays, où la carte géologique détaillée existe déjà toute imprimée et où elle est accompagnée de publications descriptives, je voudrais enseigner à tous ceux qui peuvent en avoir besoin le moyen de l'utiliser. Peut-être apprendrai-je, en même temps, à beaucoup d'entre eux son existence même et contribuerai-je ainsi, en quelque mesure, à faire apprécier cet admirable service de la carte géologique, dont la très faible collaboration que j'ai pu lui apporter ne saurait, je crois, m'empêcher de faire l'éloge.

A. **Confection des cartes géologiques.** — Je suppose d'abord qu'il n'existe pas de carte géologique. Indiquons, en deux mots, comment on peut suppléer à cette lacune.

J'admettrai, bien entendu, pour cela, qu'on possède une *carte topographique* du pays; car, si cette carte n'avait pas été faite, il faudrait commencer par l'établir, tout au moins avec des cheminements à la boussole et des mesures de distance au pas : côté de la question que je ne puis songer à traiter ici incidemment.

Ayant cette carte topographique, ce qu'on se propose, c'est de la peindre de couleurs variées et conventionnelles, chacune d'elles correspondant à un ensemble de dépôts formés pendant une période déterminée de l'histoire terrestre, ou à une catégorie déterminée de roches éruptives et représentant l'étage géologique, qui existe à la superficie, au point considéré. Suivant que la carte sera à une échelle plus ou moins grande et que les observations sur le terrain seront plus ou moins précises, on pourra établir, dans la série des dépôts sédimentaires ou des roches

cristallines, des divisions plus ou moins nombreuses, multiplier plus ou moins les détails, et il n'est pas besoin de dire que, plus on aura précisé, spécifié ces détails, mieux on sera renseigné ensuite pour les applications pratiques : l'idéal, à cet égard, ne pouvant être atteint que si l'on arrive à représenter, sur une carte à très grande échelle et très exacte, toutes les variations du terrain, qui peuvent avoir une conséquence pour les travaux.

C'est pourquoi, depuis bien des années, les corps savants réclament avec insistance l'exécution d'une carte topographique détaillée de la France au 1 : 50.000^{e}, avec courbes de niveau, qui, par les économies qu'elle permettrait de faire sur les avant-projets de travaux publics et les erreurs sans nombre qu'elle éviterait, payerait bien vite sa confection. Tout au moins serait-il vivement à désirer — et je ne puis m'empêcher de le dire ici en passant — qu'on renonçât au système actuel, dans lequel la correction des trop nombreuses inexactitudes de la carte de l'État-Major au 1 : 80.000^{e} est confiée à de jeunes officiers sans expérience, qui ne font, en général, que doubler les erreurs primitives par de soi-disant rectifications, hâtivement copiées dans le bureau d'un agent-voyer. Il suffit d'avoir eu à se servir de notre carte de l'État-Major dans un pays un peu éloigné des grands centres pour avoir eu à souffrir de cet état de choses et l'on se demande par quelle étrange anomalie administrative on persiste à confier un service géographique, pour lequel des géographes seraient assez naturellement indiqués, à des hommes, pleins de zèle sans aucun doute, mais que, sauf de très honorables exceptions, les manœuvres d'infanterie et de cavalerie semblent avoir in-

complètement préparés pour ces études, si intimement liées à la géologie.

Le coloriage de la carte topographique suivant les couleurs géologiques suppose nécessairement la détermination préalable de l'âge et de la nature du terrain en chaque point. On peut cependant remarquer de suite que, précisément, la connaissance de la géologie peut apprendre à présumer, avec une très grande vraisemblance, la nature du sol en un point que l'on n'a pas observé directement, d'après les résultats de l'examen en d'autres points bien choisis. Cette vraisemblance, qui résulte d'un principe de continuité, simplifiera souvent les études, à la condition de ne pas s'y fier trop aveuglément.

Dans ses courses sur le terrain, le géologue n'a besoin que d'un très petit nombre d'*instruments* et il importe, en effet, ces courses devant se faire à pied, souvent à de grandes distances, de simplifier le bagage. Dans les cas ordinaires, il suffit d'avoir un fort marteau, une bonne loupe, une boussole, un baromètre holostérique permettant de mesurer des altitudes approximatives pour établir des coupes, un mètre et quelques sacs à échantillons.

La *récolte des échantillons* est, surtout pour une personne inexpérimentée, qui aura besoin de les faire déterminer au retour par un spécialiste, un point capital. Elle demande à être opérée avec un soin extrême pour éviter des erreurs.

Tout d'abord, il importe de bien choisir son échantillon. S'il s'agit d'une roche cristalline, il faut éviter les parties décomposées, qu'on a toujours une tendance à attaquer de préférence, parce quelles se fragmentent plus aisément sous le marteau; ce sont les

parties les plus dures, au contraire, qu'il faut se donner la peine d'abattre, en recherchant des cassures bien fraîches et proscrivant absolument les débris déjà épars sur le sol, qui ont toujours subi un commencement d'altération. Il faut également éviter de choisir une veine exceptionnelle et prendre un spécimen qui corresponde bien à la moyenne de la masse.

Dans les terrains sédimentaires, on doit s'attacher à recueillir des *fossiles*. C'est une recherche qui, chacun peut en faire l'expérience, est singulièrement facilitée quand on connaît d'avance les formes approximatives des coquillages que l'on peut avoir chance de rencontrer ; car alors la moindre partie de la coquille qui apparaît au jour attire l'attention et fait présumer des parties cachées ; faute de cette connaissance préalable, il suffit de regarder bien et de ne pas se décourager trop vite pour remarquer des formes organiques, qui se distinguent, même pour un œil inexpérimenté, de la structure ordinaire de la pierre. Tout au plus court-on le risque de rapporter, en guise de fossiles, quelques « ludus naturæ », quelques silex contournés et bizarres ou quelques dendrites noires de manganèse prises pour une empreinte de fougère.

Pour chercher des fossiles, contrairement à ce qu'on doit faire pour échantillonner une roche, il faut observer les parties altérées, les affleurements depuis longtemps exposés à l'air, les talus soumis à l'action de la pluie et du soleil, les parois de calcaire corrodées et rougies par l'oxydation. En effet, la corrosion d'un calcaire un peu cristallin laisse volontiers en saillie les fossiles plus résistants, qui apparaissent alors beaucoup mieux que sur une cassure plane ; la décomposition d'un calcaire en argile les isole de

même d'un terrain auquel ils étaient soudés et, sur un talus argileux, il se fait une sorte de lévigation, les fossiles plus lourds résistant mieux au ruissellement des pluies que l'argile encaissante et restant à la surface en relief.

Une erreur, dans laquelle tombent tous les néophytes, est de recueillir des moules intérieurs des coquilles au lieu de la coquille elle-même, ou de son moule extérieur, qui, à la rigueur, peut souvent permettre de reconstituer celle-ci : la coquille seule pouvant donner lieu à une détermination vraiment précise. En effet, quand une coquille est restée dans un terrain au moment de la constitution de celui-ci, elle a été entourée par ce terrain, qui l'a en même temps remplie, et c'est ainsi qu'elle s'est trouvée prise entre un moule externe et un moule interne. Le moule interne, en calcaire ou en silex, qui a l'apparence d'un coquillage entier, séduit aussitôt les chercheurs novices; mais, s'il n'est pas resté recouvert du test de la coquille, qui se reconnaît à son aspect nacré, semblable à celui de tous les coquillages, il n'a aucune valeur; car il ne porte pas les signes caractéristiques sur lesquels est fondée la classification. Ce qu'on préfère pour les déterminations, ce sont les coquilles trouvées dans un terrain meuble non adhérent, comme un sable, et qui se présentent toutes dégagées, ainsi que sur une plage. A la rigueur, le moule externe peut encore être utilisé; on y coule du plâtre anglais très fin et bien exempt de calcaire; puis on dissout le moule dans l'acide chlorhydrique et le plâtre inattaqué reproduit l'organisme primitif.

Dans le choix des fossiles, presque toujours plus ou moins brisés, il est à peine besoin de dire qu'il faut

préférer ceux qui présentent intacts les caractères distinctifs. Disons, à titre d'exemple, que dans les gastéropodes, dont le colimaçon est le type vulgaire, la forme de l'embouchure a une importance spéciale; puis viennent les détails d'ornementation des spires; dans les bivalves (moules, coquilles de Saint-Jacques, etc.), on se règle surtout sur la forme de la charnière qui réunit les deux valves; dans les mammifères, sur la dentition, etc.

L'échantillon recueilli, il importe, ainsi que je l'ai déjà dit précédemment, si l'on veut arriver à une constatation précise, de noter avec minutie où il a été pris [1], non seulement dans quel point du pays, mais, si c'est dans un escarpement ou une tranchée, à quel niveau exact et dans quelle couche de cette tranchée, en partant bien de cette idée que, sur une tranchée de trois mètres de haut, deux ou trois étages géologiques totalement différents, aussi différents que seraient une assise romaine, une assise du moyen âge et un mur moderne, peuvent quelquefois être représentés.

Quand on voit un semblable escarpement, on doit donc en reproduire sur son carnet ce qu'on appelle la *coupe* : coupe ainsi conçue, en numérotant, par exemple, les terrains de haut en bas :

1. Lit d'argile grise.....	$0^m,03$
2. Banc calcaire dur et compact.....	0 ,10
3. Mince délit sableux plein de coquilles...	0 ,02
4. Calcaire divisé en plaquettes.....	0 ,25

1. Pour repérer un point sur une carte détaillée, on peut très bien se servir des lettres composant les noms inscrits sur cette carte, noter par exemple : sommet de l'*a* de Villefranche, *x* de Buxière, etc. Un autre procédé consiste à inscrire sur la carte des numéros d'ordre, reproduits sur les échantillons.

Chaque niveau, caractérisé par son aspect extérieur, étant ainsi numéroté et son épaisseur mesurée, il suffit de désigner les fossiles qui y ont été recueillis par le numéro correspondant.

Autant il est essentiel de distinguer les divers niveaux en un même point, autant il faut se méfier de la similitude extérieure minéralogique et physique qui peut exister entre deux bancs observés en des points voisins, pour les identifier à priori. Une telle identification n'a de valeur réelle que si elle est fondée sur l'examen minutieux des fossiles, quand il s'agit de terrains sédimentaires, ou des minéraux constituants, quand on a affaire à des roches. Dans un voyage d'exploration, où on ne saurait attendre les résultats de cette recherche approfondie qui aura sa place au retour, on peut toutefois, si l'on a l'esprit observateur, arriver à reconnaître l'aspect général de la faune, correspondant à un certain niveau, sans en faire d'ailleurs aucune détermination et retrouver la même faune un peu plus loin : un tel rapprochement ne sera jamais qu'approximatif, mais il permettra tout au moins de savoir que les deux terrains appartiennent à une même grande division du temps.

C'est par des rapprochements de ce genre qu'on arrivera à teinter grossièrement la carte d'un pays inconnu. On parviendra, par exemple, très vite à distinguer, dans les cas ordinaires, le granite, le porphyre, les roches volcaniques, les terrains primaires, le jurassique, le crétacé et le tertiaire, et l'on rapportera déjà ainsi un renseignement précieux.

En général, tous les escarpements naturels, les berges de rivières, les falaises des côtes, les tranchées de chemins, etc., seront à étudier spécialement, comme

pouvant fournir des coupes naturelles et renseigner sur l'ordre de superposition de terrains, qu'ailleurs on voit seulement juxtaposés à la surface. Il faut quitter, le plus possible, les plateaux, où les observations sont toujours insuffisantes, pour traverser les vallées perpendiculairement à leur thalweg, malgré la fatigue supplémentaire qui en résulte, etc.

Toutes ces explorations de surface demandent ensuite à être complétées par des *coupes* théoriques, établies suivant les itinéraires explorés, notamment

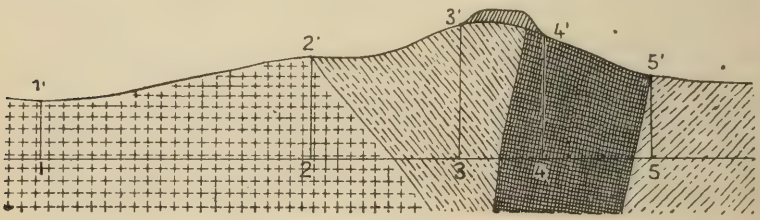


Fig. 7. — Exemple d'une coupe relevée suivant un itinéraire : 1' 2', granite ; 2' 3', terrain primaire incliné vers la droite ; 3' 4', terrain secondaire en stratification discordante sur le terrain primaire et sur le dyke de roche éruptive 4' 5'; au delà de 5', terrain primaire incliné vers la gauche.

dans les régions accidentées, comme les traversées d'une chaîne de montagnes, où ce terrain change fréquemment.

Pour faire une semblable coupe (fig. 7), on porte, d'abord, sur une horizontale, des longueurs proportionnelles aux chemins parcourus (eux-mêmes tracés en plan sur la carte), et, en chaque point, 1, 2, 3, 4, on élève des verticales proportionnelles aux altitudes constatées en chacun de ces points par le baromètre : on a ainsi le profil extérieur du terrain, sur lequel on reporte les observations géologiques par le même procédé que sur la carte, au moyen des mêmes teintes conventionnelles : par exemple, granite de 1' en 2';

puis terrain primaire de 2′ en 3′; terrain secondaire de 3′ en 4′; roche éruptive ancienne de 4′ en 5′ et, de nouveau, terrain primaire au delà de 5′.

Afin de rendre cette coupe tout à fait instructive, il faut y ajouter les pentes observées pour chacun des terrains, pentes souvent très visibles sur leurs bancs et, dans le cas d'une roche éruptive, essayer de reconnaître si l'on a affaire à une coulée, à une nappe ou, au contraire, à un dyke filonien intrusif, comme je le suppose, sur la figure 7, pour le massif 4′ 5′. Le principe de la continuité, joint à quelques notions très générales sur l'*allure ordinaire des divers terrains*, *roches* ou *filons*, permet alors de compléter la coupe.

Il est, à cet égard, nécessaire de faire, sur la disposition générale des roches, quelques suppositions, de recourir à certaines notions théoriques, que je vais rappeler très sommairement.

Ainsi, quand on observe à la surface un granite 1′ 2′, qui est le type de ce que les géologues appellent une roche de profondeur, on peut, dans un cas normal, admettre que ce granite se prolonge indéfiniment suivant la verticale du point considéré.

D'autres roches 4′ 5′ affectent l'allure de filons, comparables à des murs, qui, au lieu d'être bâtis dans l'air, seraient encastrés entre deux *épontes* d'autres roches, ou d'autres terrains tout à fait indépendants. Ces filons, qu'on définit parfois comme approximativement verticaux, sont, en réalité, presque tous plus ou moins inclinés, d'un angle plus ou moins accentué sur l'horizon : angle dont il convient de tenir compte dans la coupe, si on peut l'observer. Leur épaisseur est extrêmement variable, depuis quelques centimètres, jusqu'à plusieurs centaines de mètres pour certains

dykes de roches éruptives. Un filon important peut, en pratique, être supposé indéfini en profondeur; car il l'est, en réalité, presque toujours, dans la limite de nos travaux. Parmi les roches qui se présentent ainsi en filons ou dykes, on peut citer les porphyres, les porphyrites, les diabases, les trachytes, les basaltes, etc. L'allure filonienne est également celle que présentent la plupart des gîtes métallifères.

Ailleurs, les roches se sont épanchées, ont coulé au jour et forment des nappes, qui se comportent comme des strates sédimentaires inclinées. Une telle allure est essentielle à reconnaître pour ne pas faire une coupe tout à fait erronée; elle existe parfois pour les porphyres, plus souvent pour les basaltes, trachytes et andésites; on peut la constater, par exemple, en abordant un coteau par deux ou trois côtés différents et retrouvant la même roche éruptive au même niveau topographique, comme le terrain 3′ 4′, parfois intercalée entre les deux mêmes couches de terrain.

Les terrains sédimentaires ont été originairement déposés, comme je l'ai déjà rappelé plus d'une fois, en couches horizontales, empilées dans leur ordre de succession logique et, quand leur âge est récent ou quand on a affaire à une région non disloquée, on les retrouve souvent encore ainsi. Mais, plus fréquemment, ils ont pris une certaine inclinaison (visible entre 2′ et 3′), qui, pour les terrains très anciens, ou même, dans les régions très disloquées comme les Alpes, pour des terrains secondaires et tertiaires, peut aller jusqu'à la verticale.

Il arrive même, nous l'avons vu, dans les contrées montagneuses, qu'il y ait eu renversement complet et que les terrains apparaissent empilés dans l'ordre

inverse de leur ordre logique[1]; mais je n'insiste pas sur ce fait exceptionnel, dont la constatation demande des connaissances géologiques beaucoup trop avancées pour pouvoir être enseignée ici.

Enfin, certains terrains récents, comme des moraines ou des éboulis, forment des placages sur le flanc des coteaux; il en est de même des alluvions de rivières, qui se disposent généralement par terrasses étagées, dont les plus hautes sont les plus anciennes,

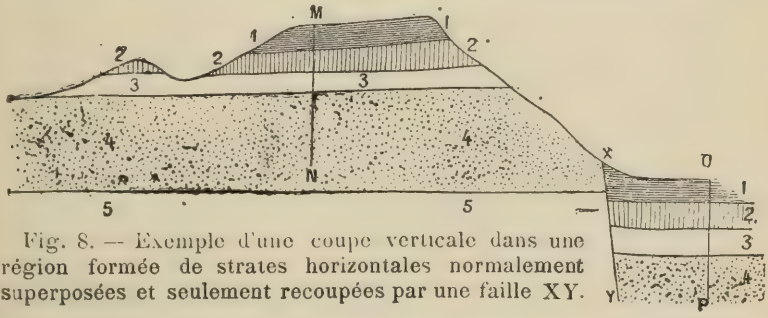


Fig. 8. — Exemple d'une coupe verticale dans une région formée de strates horizontales normalement superposées et seulement recoupées par une faille XY.

contrairement à ce qui se passerait si l'on avait là des niveaux réellement superposés.

Dans le cas plus simple et plus habituel de terrains sédimentaires normalement superposés, je suppose qu'en traversant un coteau on fasse les observations représentées sur le profil de la figure 8, les terrains 1, 2, 3, 4 étant des terrains bien différents d'aspect et de faune, c'est-à-dire aisément reconnaissables. En joignant sur le profil les limites observées superficiellement des formations 1, 2, 3, 4, on en conclura la coupe intérieure du coteau, c'est-à-dire les résultats prévus d'un sondage MN. La coupe suppose l'observation d'une faille XY au pied droit du coteau,

1. Voir la fig. 3, page 39.

entre les terrains 4 et 1. Si, à partir de là, il y a une vaste plaine, où les observations directes ne peuvent plus se faire, on prévoira, avec une grande vraisemblance, les résultats d'un sondage O P, en y reportant, au-dessous du terrain 1, la succession des terrains 2, 3, 4 observés sur le flanc droit de la colline le plus voisin de la faille, avec leurs épaisseurs correspondantes.

B. **Utilisation des cartes géologiques existantes.** — Sans insister davantage sur la première partie du problème posé dans ce chapitre, pour la solution de laquelle de véritables connaissances géologiques seront en général nécessaires, je vais, au contraire, envisager maintenant le cas, ordinaire en France, où la carte géologique existe toute faite et où il suffit de l'utiliser.

Il ne sera peut-être pas inutile, pour commencer, d'apprendre au lecteur quelles sont, à cet égard, les ressources dont il dispose en France ou dans nos colonies, ressources trop souvent inconnues de ceux auxquels elles rendraient les plus grands services.

Il existe, pour la France, trois cartes géologiques officielles [1], indépendamment des cartes départementales, exécutées, pour une cinquantaine de départements, entre 1835 et 1868, et des cartes dues à l'initiative particulière. La plus importante de ces cartes est au 1 : 80.000e, c'est-à-dire à l'échelle de la carte de l'État-Major, dont elle est le coloriage conventionnel,

1. Toutes ces cartes sont en dépôt chez Béranger, éditeur, 15, rue des Saints-Pères. Leur prix est de 6 francs par feuille de l'État-Major au 1 : 80.000e. Voir, sur le service de la carte géologique, la notice publiée, à l'occasion de l'Exposition universelle, dans le *Journal officiel* du 17 juin 1900.

chaque teinte employée représentant un étage géologique. Elle a été commencée en 1868; actuellement 190 de ces feuilles, sur 250, réellement comprises en France, sont déjà parues; 16 autres sont déjà à l'impression [1]; si on laisse de côté les Pyrénées et la Corse, dont la publication, pour des raisons d'ordre scientifique, n'a pas encore été commencée, on voit que la presque totalité du sol français est aujourd'hui étudiée et que, presque partout, on peut, pour un travail d'ordre quelconque, utiliser cette carte au 1 : 80.000e [2].

Une autre carte au 1 : 320.000e, dont la publication a été tout récemment commencée, et une carte au 1 : 1.000.000e, dont la dernière édition remonte à 1889, sont, en raison de leur échelle moindre, d'un usage pratique moins immédiat, et leur but est, avant tout, un but scientifique, bien que, dans la pratique même, il soit nécessaire de les consulter, dès qu'on veut arriver à se former une idée d'ensemble.

Dans les régions minières, et spécialement pour nos

1. Ces cartes sont numérotées de 1 à 267 par lignes horizontales du nord au sud, 1 à 258 pour la France continentale dans ses limites antérieures à 1870, 259 à 267 pour la Corse.

2. Qu'il me soit permis de faire remarquer, à ce propos, combien le budget du Service géologique est restreint en France, ainsi du reste que tout ce qui touche aux recherches scientifiques : à peine 80 ou 90 000 francs par an, dont il faudrait défalquer le produit de la vente des publications et des cartes, qui forme un bénéfice direct pour l'État et non pour le Service. Sur ces 90 000 francs, 30 000 sont nécessaires pour l'impression des travaux. Il reste à peine 50 000 francs pour les frais des tournées du personnel (qui apporte une collaboration à peu près gratuite). C'est bien peu de chose à côté des 2 millions dont disposait récemment encore le même service aux États-Unis, des 750 000 francs qu'il avait, je crois, en Angleterre et des crédits comparables que lui ont alloués même les pays les plus petits et les plus pauvres.

grands bassins houillers, le même Service a publié de nombreux volumes de topographies souterraines, avec des atlas de planches et de coupes à grande échelle.

L'Algérie et la Tunisie possèdent également une carte d'ensemble en cinq feuilles au 1 : 320.000e, et l'on a commencé la publication de quelques feuilles au 1 : 50.000e.

En Indo-Chine, le service des mines a commencé quelques cartes au 1 : 100.000e [1].

Nos autres colonies sont moins favorisées, et l'on est obligé d'y recourir à des travaux préparatoires, dispersés un peu partout dans diverses revues : par exemple, la carte du Congo par M. Barra (1894), la carte de Madagascar par M. Gautier (*Annales de géographie*, 1893 et 1895), ou celle de M. Boule (congrès géologique de 1900), la carte de la Nouvelle-Calédonie par M. Glasser (*Annales des Mines*, 1904), les travaux sur les gisements aurifères de la Guyane, de M. Levat (*Annales des Mines*, 1893) [1].

Quand on a en mains une carte géologique, il faut savoir s'en servir et ne lui demander que ce qu'elle peut donner. C'est un point sur lequel il sera peut-être utile d'insister ; car j'ai souvent entendu faire à certaines de ces cartes, faute de les comprendre, des reproches tout à fait injustifiés.

Nous allons, pour préciser, raisonner sur la carte au 1 : 80.000e, que le lecteur aura plus généralement occasion de consulter.

Si nous considérons l'une quelconque de ces cartes, nous voyons qu'elle comprend : 1° au centre, une

1. Voir un rapport officiel de M. Lantenois en 1906 et les travaux de M. Leclère (*Annales de Géographie*, 1900).

feuille de l'État-Major, coloriée et notée suivant un principe sur lequel nous aurons à revenir, avec, des deux côtés, une légende, donnant la signification géologique des couleurs et des notations employées (par exemple : J^4, jaune : séquanien, ou γ, rouge : granite); 2° une notice explicative en deux colonnes, décrivant sommairement chacun des terrains représentés et donnant généralement, à la fin, un résumé des substances minérales utiles, des cultures, etc.; 3° enfin, au bas de la feuille, une légende technique, indiquant (au moyen de notations d'une complication malheureusement bien archaïque) les principaux gisements de substances utiles, les carrières, les galeries de mines, les tuileries, fours à chaux, etc.

Ces cartes sont souvent accompagnées, dans le Bulletin du service de la carte géologique (un volume annuel), de mémoires descriptifs beaucoup plus développés, qui forment alors un ouvrage distinct.

Revenons sur ces divers points :

Les couleurs, qui représentent chaque étage géologique, appartiennent à une échelle de couleurs, générale pour toute la France : ces cartes au 1 : 80.000e étant, en principe, conçues de manière à pouvoir être rapprochées sans disparate dans un immense panneau d'assemblage. On s'est, dans le choix de ces couleurs, heurté à une grande difficulté. En effet, dans une carte d'ensemble, il est utile que tous les terrains d'un âge analogue, compris par exemple dans une même grande division du temps, soient teintés de nuances voisines et c'est, en effet, la solution qu'ont adoptée les congrès géologiques pour les cartes internationales : une même gamme de couleurs a été admise par tous les pays, de manière à pouvoir per-

mettre la lecture immédiate d'une carte quelconque, au moins dans ses grandes lignes, sans être obligé de recourir constamment à la légende. Au contraire, pour les cartes de détail et d'un usage local, le but à remplir est fort différent : les terrains très dissemblables se distinguent si aisément les uns des autres dans la nature qu'on pourrait presque les teinter de même sans inconvénient; ce qu'il importe d'éviter, ce sont les confusions entre terrains analogues et d'âge voisin; celui qui se sert de la carte sur le terrain attache fort peu d'importance à ce que l'effet général de la publication présente une certaine harmonie de couleurs, à l'occasion de laquelle se révèle parfois, chez les géologues de cabinet, un effort inattendu vers le goût artistique : ce qu'il désire, c'est de ne pas hésiter entre des nuances de jaune, de bleu ou de vert, qui, une fois passées au soleil, risquent de se confondre toutes les unes dans les autres. C'est pourquoi on a été amené, sur la carte de France, à un bariolage, qui choque souvent, à première vue, les esprits systématiques.

Chaque couleur est accompagnée d'une notation, telle que J^4, J_{III}, l^2, qui, si l'on se reporte à la légende et à la notice explicative, donne l'âge géologique et la description du terrain représenté.

Là encore, la nécessité d'avoir un système de notations unique pour toute la France et les intercalations, qu'on s'est trouvé amené à faire, au fur et à mesure des explorations, dans un travail d'aussi longue haleine (commencé depuis plus de trente ans), ont produit certaines anomalies et complications apparentes, dont il peut être utile de dire un mot.

Si l'on prend, par exemple, les divers étages du

crétacé, tous désignés par la lettre c, on verra que ces terrains, considérés du haut en bas de leur superposition (c'est-à-dire dans l'ordre inverse de celui de leur dépôt), portent des numéros décroissants : c^6, c^5... c^1 (parfois réunis de la façon suivante c^{3-1}, si, dans la région considérée, on s'est trouvé dans l'impossibilité de distinguer les étages c^1, c^2, c^3). Mais, arrivé à c^1, on retrouve au-dessous, toujours de haut en bas, c_{I}, c_{II}, c_{III}, c_{IV}, etc. (c prime, c seconde, etc).

« D'après les auteurs de la légende générale, on a pris pour origine commune un horizon choisi en raison de sa constance et de sa netteté et l'on a attribué des exposants 1, 2, 3, 4, aux étages supérieurs, des indices I, II, III, IV, aux étages inférieurs [1]. »

Dans d'autres cas, on s'est trouvé dans la nécessité locale de distinguer plusieurs niveaux dans un même étage m_{III}; on aura alors : $m_{III\,a}$, calcaire lacustre tongrien, $m_{III\,b}$, sidérolithique tongrien : ces subdivisions, parfois noyées dans la même couleur, n'ayant alors qu'un caractère purement local et ne se répétant pas d'une carte à l'autre.

Dans le cas le plus ordinaire, celui qui consulte une carte pour un usage pratique, désire savoir l'âge et surtout la nature des couches qui se trouvent, en un point donné, à une profondeur quelconque.

Je rappelle, à ce sujet, un point sur lequel j'ai déjà insisté, c'est que, systématiquement, on a négligé, dans la carte géologique, la couverture générale de

1. Voir, dans les *Annales des Mines*, 7e série, 1879, t. IV, la légende technique générale de la carte géologique et, dans le t. V du même recueil, une notice de M. de Chancourtois sur le système et le mode d'application de la légende géologique générale de la carte géologique.

terre végétale plus ou moins épaisse et même, dans bien des cas, certains terrains superficiels récents, limons, éboulis, alluvions mêmes, sous lesquels on pouvait reconnaître la nature du sous-sol, infiniment plus intéressant pour les études géologiques proprement dites que ces détritus récents. C'est là souvent une cause d'erreur pour ceux qui consultent une carte sans avoir l'expérience de la géologie et qui, voulant, par exemple, savoir si la terre de leur champ est plus ou moins argileuse ou calcaire, peuvent se trouver trompés, si, au-dessous d'un mètre ou deux d'argile, de sable ou de mâchefer, très importants pour l'agriculteur, il existe un calcaire jurassique, qu'ils trouvent seul noté sur la carte.

Cette réserve faite, supposons, par exemple, que le point intéressant pour nous soit noté J^4. Nous nous reportons à la notice et nous trouvons, j'imagine, sur la feuille en question, que J^4 signifie l'étage séquanien, composé : 1° de marnes et calcaires noduleux, 2° de calcaires lithographiques compacts, 3° de calcaires blancs crayeux, avec calcaires schisteux à la base; ou encore que $c^{3\text{-}1}$ signifie l'albien, comprenant un lit de graviers avec phosphate de chaux et des sables, passant localement à des grès ferrugineux.

Ailleurs, telle autre notation comprendra des schistes, des calcaires, des grès et des marnes fluescentes, c'est-à-dire une série de terrains qui, pour tous les usages pratiques de la géologie (agriculture, tranchées, recherche des mines ou des gîtes utiles), joueront un rôle absolument dissemblable. C'est un défaut qu'il est impossible d'éviter, à moins de faire des cartes à une échelle démesurément grande; car une carte géologique ne peut avoir d'autre but que

de noter l'âge précis de chaque terrain, sans viser à faire connaître, en chaque point, sa nature physique ou chimique; mais il est utile d'en être prévenu pour ne pas s'y tromper.

En outre de la nature des terrains, la légende technique, placée au bas de chaque feuille, donne les gisements et exploitations des principales substances utiles. Il est très regrettable que, par suite d'une conception erronée qui remonte à 1868, on ait multiplié indéfiniment les signes conventionnels, dont le nombre avait été porté au début jusqu'à 1114 : ce qui a naturellement amené à en compliquer la forme pour les distinguer, et surtout qu'on leur ait donné une petitesse et une gracilité qui empêchent de les voir, comme on le devrait, au premier coup d'œil. Néanmoins, quand on y apporte quelque attention, ces indications peuvent rendre des services. Si l'on trouve par exemple, dans la légende « $\frac{\bigcirc}{a^1, J_{IV\,b}}$: Sources minérales », cela veut dire qu'on rencontre les sources minérales de cette feuille uniquement dans les deux terrains a^1 et $J_{IV\,b}$, placés en dénominateur, le signe du numérateur voulant dire source minérale. Les recherches sur la carte se trouvent, par suite, limitées.

Quand on veut pousser plus loin les études sur une carte géologique et, non seulement connaître la nature du sol, mais encore prévoir celle du sous-sol à les profondeurs diverses (ce qui est particulièrement indispensable pour les recherches de sources, les projets de tranchées, de fondations, etc.), il faut, de toute nécessité, commencer par tracer des coupes en utilisant les données de la carte.

A cet égard, on doit reconnaître que les rensei-

gnements fournis par la carte au 1 : 80.000^e sont très souvent insuffisants, en raison du manque de précision (je ne parle pas des erreurs trop fréquentes), que présente la topographie dans la carte de l'État-Major.

En attendant qu'on ait chargé un corps de topographes spécial d'exécuter une carte par courbes de niveau au 1 : 50.000^e, il faut essayer de se servir des moyens dont on dispose.

Je prendrai, au hasard, un coin de carte comme exemple [1], en ayant soin d'y relever toutes les cotes de niveau que présente la carte de l'État-Major. (Les chiffres entre parenthèses ont été calculés, comme on le verra, d'après ceux-là.) Cette région (fig. 9) présente deux parties distinctes : à droite de la faille XY, un exemple de la superposition normale des terrains restés relativement horizontaux (bien qu'avec une certaine pente du nord au sud) : superposition qui se traduit par des limites de terrains formant à peu près des courbes de niveau sur le pourtour du mamelon allongé, dont la partie haute est occupée par le terrain J^1; à gauche, une faille XY, c'est-à-dire une grande cassure verticale, qui a remonté vers le jour et mis en contact anormal avec des terrains supérieurs le terrain inférieur J_{IV}, situé à gauche de XY.

La notice explicative consultée apporte souvent des renseignements complémentaires sur l'épaisseur moyenne totale de chacun des étages géologiques représentés sur la carte.

Mais supposons que ces renseignements fassent défaut et que nous voulions prévoir les résultats du forage d'un puits au point A.

1. Région de Pougues, sur la feuille de Nevers.

Il faut, pour cela, mener sur la carte des coupes transversales, telles que BAC ou EAD et, à cet effet, commencer par tracer, suivant ces deux directions, d'après la topographie, les deux profils extérieurs du terrain (fig. 10 et fig. 11).

Pour dessiner un profil semblable, on adopte toujours, dans les pays peu accidentés, pour les hauteurs verticales, une échelle beaucoup plus grande que pour les distances horizontales, sans quoi le relief n'apparaîtrait pas : par exemple, la planimétrie étant au 1 : 80.000e, une échelle des hauteurs au 1 : 10.000e, c'est-à-dire 8 fois plus forte, on trace, comme premier canevas, des horizontales distantes de 2 en 2 millimètres (c'est-à-dire de 20 en 20 mètres), et on y reporte, à l'échelle horizontale de la carte, les

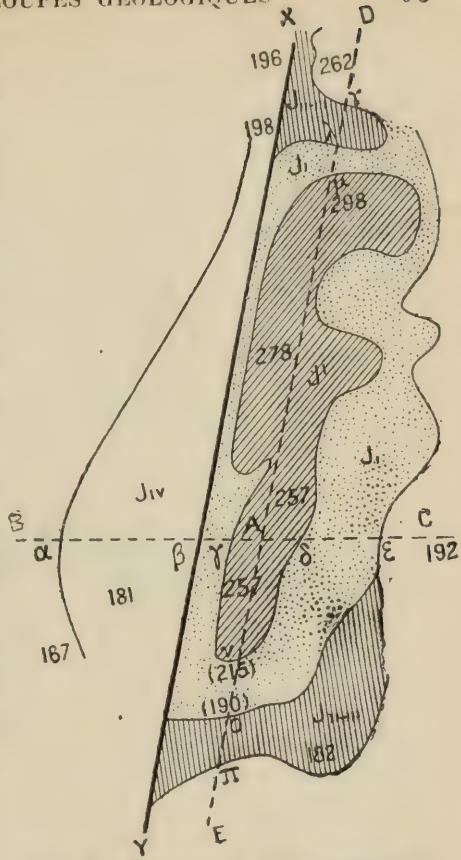


Fig. 9 — Exemple de carte géologique, comprenant les terrains J', J_I, J_{II-III}, J_{IV} recoupés par une faille XY.

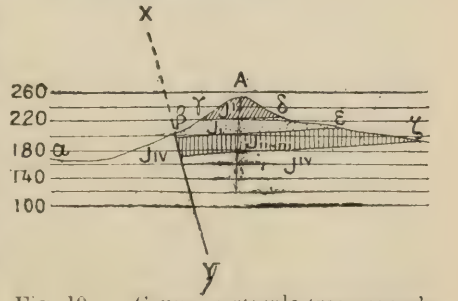


Fig. 10. — Coupe verticale transversale BC de la figure 9.

points d'altitude connue (comme nous l'avons fait sur la figure 7, page 80). Ces points, reliés les uns aux autres par une courbe continue, en se guidant sur le sentiment de la raideur plus ou moins grande des terrains, que marque l'espacement plus ou moins fort des hachures, donnent le profil cherché. En joignant les points $\gamma\delta$, on a la base du terrain J^1 (fig. 10). Une ligne à peu près parallèle menée par ε donne, au-dessous, la limite du terrain J_I. Il est à remarquer que, comme le terrain J_{II} n'apparaît pas sur la carte à droite de la faille XY, cette ligne, partant de ε,

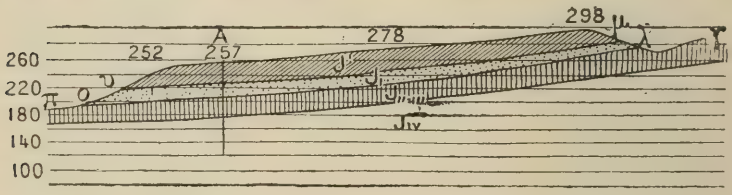


Fig. 11. — Coupe verticale transversale EAD de la figure 9.

doit rencontrer la faille XY au-dessous de la sur face du sol.

Cette coupe se vérifiera et parfois se complétera par la coupe transversale EAD (fig. 11), sur laquelle on commence par reporter de même le profil du sol, puis les points $\gamma\ \lambda\ \mu\ \nu\ o\ \pi$ des limites; après quoi, on joint $\mu\nu$, γo, $\lambda\pi$ par des lignes droites. Les deux verticales du point A devant nécessairement fournir des épaisseurs identiques, on pourra se servir de l'une des coupes, celle dont les données paraîtront les plus précises, pour rectifier l'autre. Si certaines données manquent sur les deux coupes, par exemple ici l'épaisseur du terrain $J_{II\text{-}III}$, on la déterminera par une coupe semblable, menée dans une région voisine; on tracera, sur les deux figures 10 et 11, les lignes correspondantes qui

marquent la base du terrain J_{II-III} et, dès lors, une mesure directe donnera la coupe d'une excavation quelconque, un puits par exemple, creusée au point A. Les renseignements sur la nature de chacun des terrains traversés seront tirés de la notice, où je les copie :

J^1	$= 23^m$	Calcaire marneux. Marnes jaunes argileuses, avec calcaire noduleux.
J_I	$= 16^m$	Marnes alternant avec un calcaire oolithique. Assise mince de marnes blanchâtres. Marnes jaunes alternant avec des bancs calcaires.
J_{II-III}	$= 20^m$	Marnes bleuâtres argileuses. Niveau d'oolithes ferrugineuses.

Il est à remarquer à ce propos que, seules, les dernières cartes publiées désignent les terrains par leur nom d'étage conformément au tableau de la page 297. Les anciennes cartes portent des dénominations démodées, dont on pourra être embarrassé pour trouver le sens précis. En voici quelques exemples.

Dans le permien, le *rothliegende* représente le saxonien (15) et le *zechstein* le thuringien (16). Dans le trias, le *grès bigarré*, le *muschelkalk* et les *marnes irisées* (ou *Keuper*) correspondent aux trois subdivisions 17, 18, 19. L'*argovien* est l'oxfordien (28). Le *corallien* et l'*astartien* sont à peu près le séquanien (29). Le *virgulien* est le kimeridgien (30). On désigne par *craie glauconieuse* le cénomanien (36), par *craie marneuse* le turonien (37), par *craie blanche* le sénonien (38), par *calcaire pisolithique* le danien (40), etc.

On voit donc comment, d'une façon très élémentaire, on peut, avec une bonne carte géologique, prévoir, à quelques mètres près, les résultats d'un sondage de près de 100 mètres. Les chapitres suivants nous apprendront toutes les conséquences pratiques que l'on obtient par un semblable procédé d'études.

CHAPITRE IV

Application de la géologie à l'art de l'ingénieur.

Établissement d'un tracé de voie ou de canal. — Position à donner aux sondages. — Recherche de matériaux de construction ou d'empierrement. — Pierres de taille et pierres à chaux.

Les cas où un ingénieur des ponts et chaussées, ou un entrepreneur de travaux publics, peuvent avoir besoin de connaissances géologiques sont nombreux; ils se résument, ce me semble, à quatre principaux :

1° Détermination préalable des terrains profonds que rencontreront les tranchées et de ceux qui serviront à asseoir les remblais, en vue de l'établissement du tracé d'un chemin de fer, d'une route ou d'un canal, de fondations pour piles de pont ou de viaduc, etc.

2° Étude des tunnels.

3° Consolidation des terrains affouillables dans les montagnes et régularisation du cours des torrents.

4° Recherche de matériaux divers : pierre de construction, sable et pierre à chaux, cailloux pour empierrement ou ballast, etc.

On pourrait y ajouter encore le captage et le drainage des eaux, l'alimentation d'eau des villes, l'amélioration du régime des cours d'eau, etc.; mais ce sont

des questions dont il vaut mieux renvoyer l'étude au moment où nous examinerons, d'une façon générale, les problèmes qui touchent à l'hydrologie (chapitre VI).

1° La détermination préalable des terrains, que rencontrera une fouille profonde en un point donné, est, on le sait, le premier objet pratique de toutes les investigations géologiques [1]. On ne peut y réussir que par la confection première d'une carte géologique, ou son utilisation, si elle existe déjà, en vue de l'établissement de coupes verticales représentant l'allure du terrain en profondeur. Nous avons indiqué, à cet égard, dans le chapitre précédent, quelle était la marche à suivre.

Une semblable étude géologique, fondée sur la seule exploration de la superficie et, par suite, peu coûteuse, devrait toujours précéder les sondages, que l'on exécute, en général, dans l'étude de tout avant-projet; elle les facilite, elle permet de les placer plus rationnellement et d'en tirer, à moins de frais, des conséquences plus assurées; mais elle n'y supplée pas complètement pour un travail de quelque importance; car elle ne constitue qu'une hypothèse, dont il est prudent, si on en a le moyen, de chercher la vérification expérimentale. Elle ne peut, d'ailleurs, renseigner sur tous les points. Ainsi, pour ne citer qu'un cas entre mille, elle permettra difficilement de prévoir, par exemple, à quelle profondeur l'arène granitique pas-

1. Cette étude préalable est trop souvent négligée dans les travaux. Si l'on consulte l'important ouvrage sur les *Routes* de M. Durand Claye (Baudry, 1885), on est surpris de voir que l'étude du tracé d'une route y est conçue comme un simple problème mathématique, sans un seul mot sur la nature géologique du sol. Les sondages sont seulement mentionnés en huit lignes, p. 114.

sera au granite dur, qui, géologiquement, lui est presque identique, mais, pratiquement, en diffère tant. Il faudra le chercher directement, par une fouille.

Dans cette mesure, la géologie peut rendre à l'ingénieur des services inappréciables. Combien de fois, faute de son secours, n'a-t-on pas établi un tracé sur une ligne de dépression topographique, qui paraissait offrir des facilités spéciales et qui, en réalité, était due, soit à la présence d'une couche affouillable, dans laquelle on ne pouvait faire tenir les talus des tranchées, soit à un accident, comme une faille, qui amenait, pour la voie serpentant autour de sa direction principale, des changements constants dans la nature du terrain et, par suite, dans le profil des tranchées? Combien de fois encore, plaçant des sondages à égale distance le long d'un tracé, n'a-t-on pas, très inutilement, exploré, par vingt sondages identiques, une région régulièrement constituée, pour laquelle un seul aurait suffi, tandis que, dans une région faillée, compliquée, où il en aurait fallu une dizaine, un seul donnait des renseignements tout à fait insuffisants et suscitait, au moment du règlement des comptes avec l'entrepreneur, que l'on avait involontairement trompé, les plus graves difficultés. Que de dépenses inutiles faites en entamant une argile fluente à flanc de coteau, ou une couche perméable formant niveau d'eau au-dessus d'une masse d'argile, ou encore en essayant de faire tenir en remblai les argiles extraites d'une tranchée voisine!

Quelques connaissances géologiques fort simples et le seul examen compétent d'une carte géologique permettront à l'ingénieur d'obtenir deux résultats : 1° choisir à priori la direction générale de son tracé,

surtout dans les pays accidentés, de manière à y rencontrer les circonstances les plus favorables ; 2° reconnaître, sur ce tracé, quelles sont les zones délicates, compliquées, accidentées, où la seule inspection superficielle peut induire en erreur et où il y a avantage à multiplier les sondages ; 3° placer ces sondages eux-mêmes de telle façon et savoir les conduire jusqu'à une profondeur telle qu'ils donnent le maximum d'effet utile ; 4° calculer à priori la pente de ses tranchées, et, 5° enfin, apprécier d'avance celles dont les matériaux pourront être utilisés sans inconvénient en remblai au passage d'une vallée.

Dans le genre d'études dont nous nous occupons en ce moment, ce qui intéresse surtout l'ingénieur est de savoir le degré de dureté des terrains qu'il traverse et, en même temps, ce qui est la conséquence directe de leur dureté, leur degré de stabilité, l'angle sous lequel on pourra les maintenir dans les tranchées, l'usage qu'il sera permis d'en faire dans les remblais. Il est essentiel, pour lui, de prévoir la rencontre d'argiles fluentes, comme ces moraines glaciaires qui constituent l'une des plus grandes difficultés pour une construction de lignes, ou encore la traversée de couches schisteuses, coupées à la base et pouvant glisser, un jour, tout d'une masse, celle de poudingues ou d'arkoses sujets à des éboulements, comme celui de Goldau sur le Rigi, etc. Il aura également avantage à prévoir les venues d'eau, qu'amèneront certaines couches poreuses, certains sables, ou à tenir compte de la résistance énorme aux outils, que pourront opposer certains porphyres, certaines diorites, certains quartz.

Les argiles et les moraines argileuses sont particulièrement à craindre ; car elles gonflent et coulent en

Universitas BIBLIOTHECA

masse sous la pression des terrains superposés, et l'on voit ainsi descendre des montagnes entières dans les tranchées; quand une couche perméable est superposée à de l'argile, elle amène les eaux au contact de celle-ci et les introduit dans les fissures de l'argile, qui se gonfle et glisse en s'éboulant. L'existence des moraines se constate à la superficie même; car il est rare qu'elles soient recouvertes par d'autres couches, et l'on n'a alors qu'à apprécier leur épaisseur par des sondages; la présence de nappes d'argiles intercalées dans les terrains peut, au contraire, être prévue par l'étude superficielle du pays et les coupes qui en résultent.

Ce sont là des notions qu'il est difficile de préciser davantage sans envisager tel ou tel cas particulier.

2° L'avant-projet d'un tunnel comportera, lui aussi, une coupe préalable, conçue exactement dans le même esprit, mais qui, pouvant être plus compliquée, nécessitera, en général, des connaissances plus approfondies.

3° Je n'ai pas à insister ici sur les ravages causés par les crues subites des torrents, qui écoulent très rapidement, sur une pente forte, de grandes quantités d'eau, produites par un orage ou une fonte de neige. L'existence de ces torrents tient, en partie, à la nature géologique du sol et, en partie aussi, à la disposition topographique, qui est elle-même, comme nous le verrons dans un chapitre spécial (ch. IX), une conséquence directe de la géologie. C'est ainsi que, dans les Alpes, les terrains du lias ou de la mollasse tertiaire se prêtent particulièrement aux affouillements, qui facilitent la production des torrents et les rendent dangereux.

On a reconnu depuis longtemps que, pour porter remède aux ravages torrentiels, il fallait attaquer le phénomène dans sa cause et non dans ses effets secondaires et que le meilleur moyen était le reboisement, facilité lui-même par des barrages, endiguements, etc., ayant pour effet de ramener le cours d'eau au profil d'un torrent éteint ou fixé dans un lit invariable par des consolidations, gazonnements, clayonnages dans le bassin de réception, etc. Il est évident que de tels travaux doivent être dirigés par la connaissance géologique des terrains, de leur nature à la surface, de celle des bancs qui les supportent en profondeur, de leurs pentes, de leurs fissures et failles, etc. La même mesure de défense, suivant qu'elle sera établie dans des conditions géologiquement rationnelles, ou, au contraire, au hasard, comme cela se fait trop souvent, donnera des résultats très différents.

Enfin, 4° l'ingénieur géologue trouvera constamment l'occasion de faire ouvrir des carrières nouvelles pour se procurer à moins de frais la pierre de construction, la pierre à chaux, le sable, les cailloux pour empierrement ou ballast[1]. Il lui sera, en effet, facile de prévoir la continuation de tel banc ou de tel filon, reconnus ailleurs à la surface, et leur passage en un point donné à quelques mètres de profondeur, où la routine du pays n'aurait jamais été les chercher. Par exemple, pour les sables, qu'on va souvent extraire dans les alluvions des rivières et qu'on est, par suite, forcé de remonter jusqu'au lieu d'emploi, on peut avoir, à flanc de coteau, des mollasses sableuses, ou des couches de sable, comme les sables du Perche

1. Voir, sur les matériaux d'empierrement : Durand Claye, *Routes*, p. 327.

cénomaniens, ou encore comme tant de bancs sableux du tertiaire. Dans le tertiaire parisien, les niveaux de l'argile plastique, du calcaire grossier, du gypse, de la meulière, des sables de Fontainebleau, qui tous ont leur grande utilité pratique, peuvent être recherchés avec certitude, quand ils n'affleurent pas, à une profondeur connue d'avance, et, par suite, avec des frais prévus. De même, il y a, dans la Plateau Central, des filons de quartz de 100 kilomètres de long, qui, en quelques points, forment des murailles de rocher tellement visibles qu'on les a exploitées de longue date pour l'empierrement, mais qui, ailleurs, disparaissent plus ou moins à la surface; une petite étude géologique bien simple permettra de les retrouver. On aura également l'occasion d'utiliser pour les routes des filons de porphyre, de fine granulite, de diabase, plus rarement de basalte à cause de sa couleur sombre, qui rend les routes mal visibles la nuit. Les bons matériaux sont ceux qui sont à la fois durs et tenaces, c'est-à-dire qui ne s'écrasent et ne s'effritent pas.

Dans l'examen d'une *pierre de construction* nouvelle, il y a à tenir compte d'un certain nombre d'éléments, sur lesquels je reviendrai au ch. VIII [1].

L'homogénéité est une condition importante, qui permet d'obtenir des blocs de plus ou moins grande dimension; elle est altérée par les délits réguliers de stratification, qui divisent ordinairement les terrains sédimentaires en bancs parallèles; par les fissures, qui, en s'agrandissant avec le temps, amèneront la rupture; par les *bousins* (ou délits tendres entre deux

1. Voir : NIVOIT, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur* 2 vol., chez Baudry, 1887. — FUCHS et DE LAUNAY, *Gîtes minéraux et métallifères*, I, p. 530, 1893.

bancs); par les *cendres* ou *pouffes*, matières granuleuses qui s'égrènent à l'humidité, etc.

La densité peut varier de 3100 kilogrammes au mètre cube pour un basalte, jusqu'à 650 pour une cendre et, pour les pierres de taille ordinaires, de 2800 à 1400; elle est d'environ 2000 kilogrammes pour un calcaire. On recherche les pierres denses pour augmenter la stabilité, les pierres légères pour les voûtes.

La dureté des pierres de taille peut se mesurer en appréciant la profondeur d'un trait de scie obtenu en un temps donné; celle des matériaux d'empierrement en en plaçant un certain nombre dans un cylindre en rotation et pesant la poussière obtenue dans un temps déterminé. Les pierres tendres se débitent à la scie à dents, les dures seulement à la scie à l'eau.

On peut augmenter la dureté par une dissolution de fluosilicate terreux, ou encore de silicate de potasse, de manière à former avec la chaux des silicates qui bouchent les pores.

La résistance à l'écrasement se mesure, le plus souvent, en faisant agir, sur un cube de dimensions déterminées (4 à 5 centimètres pour les pierres dures, 5 à 10 pour les pierres tendres), une presse hydraulique, jusqu'à ce que la rupture se produise. En divisant la charge totale de rupture par la surface de la section en centimètres carrés, on obtient la résistance par centimètre carré. On ne fait jamais porter aux pierres, en pratique, que le dixième au plus de leur charge d'écrasement.

Cette charge est environ la suivante pour quelques roches principales :

Basalte, porphyre : 2000 kilogrammes; granite :

500 à 1500; marbre compact : 700 à 1200; grès houiller de la Loire : 200 à 250; grès des Vosges : 300 à 350; calcaire de Damparis (Jura) : 750; calcaire de Caen : 160 à 200; calcaire tendre : 20 à 100; brique dure très bien cuite : 120 à 150; brique ordinaire : 50 à 60.

La résistance augmente, pour les pierres un peu poreuses, quand on les dessèche et diminue quand on les imbibe d'eau; pour les roches sédimentaires, elle atteint presque toujours son maximum quand on les place sur leur lit de carrière, c'est-à-dire dans la position qu'elles occupaient naturellement lors de leur dépôt géologique.

L'altérabilité à l'air peut être très sensible pour certaines roches : ainsi des grès calcaires, dont le ciment calcaire se dissout; des ardoises, où des grains de pyrite se décomposent et font des trous; des granulites, dont les feldspaths se kaolinisent, etc.

Pour toutes les roches, elle est particulièrement produite par la gélivité, dont l'action est, dans une certaine mesure, en rapport avec la porosité[1] et se fait surtout sentir dans les matériaux calcaires, qu'on voit se déliter par éclats, se vermiculer ou se fendre. On mesure souvent cette gélivité en trempant la pierre dans une dissolution de sulfate de soude saturée à froid et bouillante, sortant, laissant refroidir, retrempant, etc. Si la pierre est gélive, elle donne souvent de petits éclats par la cristallisation du sulfate.

L'appréciation des calcaires destinés à fournir des

1. On voit pourtant, paraît-il, des matériaux poreux et non gélifs, tels que les grès des Vosges, les ardoises d'Argentat (Corrèze), etc.

pierres à chaux ou à ciment ne peut résulter que d'une analyse chimique.

Au-dessous de 5 0/0 d'argile, on obtient de la *chaux grasse*, donnant avec l'eau une pâte grasse et foisonnante; de 5 à 12 0/0, la chaux est *maigre*, formant une pâte sans liant et sans onctuosité; de 12 à 20 0/0, on a une *chaux hydraulique*, durcissant sous l'eau; au-dessus de 20 0/0, on peut obtenir, par une cuisson suffisante, des chaux limites, ciments portland, ciments romains et pouzzolanes artificielles [1].

1. Voir, sur les pierres de taille, ciments, chaux, etc., le chapitre VIII, p. 239.

CHAPITRE V

Application de la géologie à l'agriculture[1]

A. — Le sol et le sous-sol.
B. — Les aliments de la plante. — Théorie de la nitrification.
C. — Fumiers et engrais chimiques. — Diverses catégories de sols. — Engrais à utiliser suivant la nature géologique du sol et le genre de cultures. — Rôle du sous-sol.
D. — Recherche locale des engrais minéraux et amendements.
E. — Cartes agronomiques.

A. **Le sol et le sous-sol.** — En laissant de côté la recherche, le captage et le drainage des eaux, qui feront l'objet d'un chapitre spécial, les agriculteurs ont intérêt à connaître le *sol*, sur lequel portent leurs travaux, pour savoir les éléments qui lui manquent et dont l'addition l'améliorerait; il peut leur être également utile de connaître le *sous-sol*, qui sert de soubassement au sol proprement dit; car parfois celui-ci peut renfermer les éléments qui font défaut au sol lui-même et que des fouilles, des tranchées, ou seule-

1. Voir : *Annales agronomiques de Dehérain; Annales de la science agronomique de Grandeau; Bulletin de la Société d'agriculture*; *Bulletin de la Société des agriculteurs*, etc.; Durand Claye, *Hydraulique agricole et génie rural*, 1892; de Mauroy, *Engrais chimiques*, 76 p., Troyes, 1884.

ment un labourage, un défonçage plus profonds iront aisément y chercher.

Entre le *sol*, formé de détritus superficiels, de terre végétale et d'humus, et le *sous-sol*, composé de formations géologiques plus ou moins anciennes, la distinction, habituelle en agriculture, est singulièrement vague et flottante. Selon Durand Claye, le sol serait « la couche supérieure du terrain, jusqu'à la profondeur où elle conserve la même nature minérale »; le même auteur distingue le *sol actif*, atteint par les labours et, dès lors, par les radicelles des cultures courantes (quelques centimètres dans de mauvais terrains, en moyenne 0 m. 15 à 0 m. 20) et le *sol inerte*, inattaqué par les cultures et privé de matières organiques, qui peut descendre jusqu'à 0 m. 50 dans de bonnes terres.

Sur ce sol, les plantes vivent et croissent en s'alimentant par l'air et par l'eau.

B. **Les aliments de la plante. Théorie de la nitrification.** — Quand on fait l'analyse chimique d'une plante, on trouve qu'il entre, dans ses tissus, un certain nombre d'éléments, qu'elle a dû nécessairement emprunter au sol ou à l'air et que, dans le premier cas, elle en retire, par suite, à jamais, s'il s'agit d'une plante cultivée, puisque cette plante va être emportée au loin pour être utilisée. La culture végétale a donc pour effet naturel d'appauvrir le sol, en lui enlevant les éléments mêmes qui sont nécessaires à cette culture pour se poursuivre. C'est un fait reconnu de toute antiquité que même le sol le plus riche s'épuise vite, si on lui impose de nourrir constamment les mêmes plantes, sans lui redonner d'engrais. A ce défaut, on a remédié de longue date, soit

en alternant les cultures, c'est-à-dire en faisant succéder, par exemple, aux plantes à courte racine des plantes à racine plus longue, qui vont chercher leur nourriture dans les couches profondes et ramènent certains éléments vers la surface, ou des plantes qui fixent l'azote de l'air, comme les légumineuses, et des plantes qui le demandent pour une forte proportion au sol, comme le blé; soit encore en laissant des jachères, qui ont pour effet de reconstituer naturellement certains éléments par la poussée même des plantes sauvages, tout en ayant des inconvénients de plus d'un genre (c'est ce qu'on appelle improprement laisser reposer le sol); soit surtout par l'usage des engrais végétaux et animaux.

Avec ces derniers, on redonne à la terre une grande partie de ses éléments dans des conditions particulièrement propices; on ne peut pourtant les rendre tous, si on consomme uniquement sur une ferme l'engrais produit par cette ferme, puisqu'une partie des éléments pris au sol s'en va au loin sous forme de bétail, d'œufs, de laitage, de beurre, etc. Et surtout, comme on ne redonne au sol, au maximum, que ce qu'on lui a pris, s'il présentait au début une lacune, s'il manquait de certains éléments, il continuera à en être privé indéfiniment. C'est pour remédier à ce défaut qu'on a imaginé, à une date relativement récente, et qu'on développe de plus en plus l'usage des engrais chimiques.

Ajoutons de suite que ceux-ci, même choisis judicieusement d'après des principes que je vais essayer d'expliquer, ne peuvent suppléer entièrement aux fumiers et engrais verts, avec lesquels on les emploie beaucoup aujourd'hui à l'état de mélange.

Ces fumiers, comme nous le verrons bientôt en étudiant la nitrification (p. 116 et 117), semblent être nécessaires pour aider les plantes à fixer l'azote de l'air et, en ralentissant la nitrification des matières organiques contenues dans le sol, prolonger leur action. Ils ont probablement, en outre, une action physique, en rendant le sol plus meuble et plus facile à aérer.

En dehors de cette question des engrais, je me contente de rappeler que le sol doit présenter certaines conditions physiques, obtenues par le travail mécanique du labourage et par l'irrigation : un accès facile de l'air, une pénétration aisée jusqu'aux racines et une proportion convenable d'humidité.

Les *engrais chimiques*, qui nous intéressent tout spécialement ici, ont pour but, soit de donner à un sol stérile ce qui lui manque pour pouvoir nourrir les cultures, soit de restituer chaque année à un sol quelconque ce que ces cultures lui enlèvent d'autre part. Leur usage est donc fondé sur la connaissance des éléments chimiques nécessaires à la nourriture des plantes (c'est-à-dire ceux que l'analyse retrouve dans leur substance) et sur l'analyse du sol cultivé.

On utilise de plus, en agriculture, des *amendements*, qui, sans apporter directement des éléments utiles, aident les plantes à s'assimiler des principes existant dans le sol, ou modifient avantageusement l'état physique de celui-ci.

Pour le cultivateur, en général, il faut le remarquer, la terre apparaît comme un être vivant, qu'on laisse *reposer*, qu'on *nourrit*, qu'on étrille, qu'on évite de *forcer* et d'*épuiser*. C'est une vache, dont on trait la mamelle et qui vieillit comme tout être organisé ; ce n'est pas le simple support inerte de combinaisons

chimiques ou de phénomènes vitaux. De cette conception naturaliste proviennent assurément beaucoup des préjugés régnants contre les engrais chimiques, que des expériences mal faites ont pu confirmer pour quelques-uns et qui, de plus en plus, tendent à disparaître.

Il est évident, en effet, qu'il ne faut ni forcer démesurément la proportion d'une substance utile à petites doses, ni l'apporter mélangée à une substance nuisible, ni la répandre sur les champs à un moment inopportun; mais, avec ces restrictions, et en tenant compte de la dépense supplémentaire qui en résulte, l'utilité des engrais et amendements n'est plus à démontrer. Reste seulement à voir comment, suivant la nature géologique du sol, on doit les choisir.

Les plantes ont besoin, pour vivre, de carbone, d'hydrogène et d'oxygène qu'elles empruntent directement à l'air : le carbone à l'état d'acide carbonique, l'hydrogène sous forme d'eau, l'oxygène comme élément libré. Il faut, en outre, qu'elles tirent du sol quatre éléments principaux : l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium. L'azote est, en partie, demandé directement à l'air; mais la plupart des plantes, et notamment le blé, ont besoin, en outre, de trouver de l'azote dans le sol; les trois autres éléments, cités en second lieu, proviennent uniquement de celui-ci; il est donc nécessaire que chaque catégorie de cultures trouve ces quatre corps chimiques à sa portée dans le terrain et sous une forme assimilable, dans la proportion où elle doit les utiliser : proportion très variable avec sa nature; il faut, en outre — et j'indique pour mémoire ce côté important de la question, pour lequel la géologie n'a que peu de chose à voir —, qu'on ait assuré à un sol, qui pouvait être argileux, compact,

impénétrable aux racines, la mobilité et le degré d'humidité nécessaires.

De ces quatre aliments de la plante, les trois derniers ne demandent pas grandes explications ; nous aurons seulement à voir dans quelles conditions le phosphate est assimilable. Au contraire, les problèmes, qui se posent relativement à l'*azote*, ont besoin d'être étudiés ici.

Parmi les éléments chimiques dont se nourrissent les plantes et que le sol où elles poussent doit être en état de leur fournir sous peine de stérilité, c'est, en effet, un des plus importants, et son rôle, son mode d'action, autrefois très obscurs, en même temps que très essentiels à connaître, sont aujourd'hui à peu près élucidés grâce aux travaux de MM. Berthelot, Schlœsing père et fils, Müntz, Dehérain, Duclaux, etc. La question de l'azote intéresse, à bien des égards, la géologie pratique ; car le géologue a à se préoccuper de l'origine des nitrates dans la terre, dans les fleuves et dans la mer, et à chercher quelles circonstances minéralogiques favorisent ou retardent ce problème capital de la nitrification ; c'est lui également qui, en cas d'insuffisance de l'azote naturel dans la terre meuble, est appelé à en fournir artificiellement sous forme d'engrais chimique. On me pardonnera donc d'insister un peu, à cette occasion, sur une série de problèmes qui sont tout à fait à l'ordre du jour.

Dans l'ensemble de la nature, où tout se transforme indéfiniment et semble en mouvement perpétuel, les phénomènes, qui affectent l'allure de cycles, c'est-à-dire qui, finalement, reviennent à leur point de départ, sont singulièrement nombreux. On l'a remarqué, dès l'antiquité, pour les pluies, qui s'infiltrent dans la

terre, suintent en sources, coulent à la mer et s'évaporent en nuages; de même pour le carbone, que les parties vertes des plantes tirent de l'acide carbonique sous l'influence de la lumière et qui, des plantes, peut passer dans les animaux, où il est brûlé par l'acte respiratoire et reforme de l'acide carbonique, ou qui, sinon, se combure directement pour arriver au même résultat.

L'azote fournit aujourd'hui un autre exemple de cette circulation chimique[1].

Dans le sol, les matières organiques, qui renferment de l'azote à l'état de combinaison complexe, subissent, sous l'influence d'un microbe, appelé le ferment nitrique, une oxydation qui les nitrifie. Une partie des nitrates ainsi produits est alors absorbée par la nourriture des plantes; l'autre est entraînée en dissolution par les eaux jusqu'à la mer, avec une certaine proportion d'ammoniaque, et produit la teneur de la mer en azote, qui est, par litre, de $0^{mmgr.}$, 2 à $0^{mmgr.}$, 3 d'acide nitrique, et $0^{mmgr.}$, 4 à $0^{mmgr.}$, 5 d'ammoniaque. Mais, dans la mer, milieu peu oxygéné, un phénomène de fermentation inverse transforme l'acide nitrique en ammoniaque sous l'influence des organismes; ce dernier gaz s'évapore et revient contribuer, avec l'azote de l'air, à la nourriture des plantes : nourriture qui est, comme je le disais, tirée, partie de l'air, partie du sol.

On sait que l'air renferme en poids 79,1 0/0 d'azote, avec un peu d'ammoniaque et de nitrate d'ammoniaque. Cet azote de l'air peut être rendu assimilable aux plantes par des réactions diverses.

Tout d'abord, ainsi que l'a montré M. Berthelot,

1. Schloesing (*C. R.*, c'est-à-dire Comptes Rendus de l'Ac. des Sciences, 1875).

une partie de cet azote est transformée en acide nitrique et azotite d'ammoniaque par les décharges électriques des orages : en outre, les faibles tensions électriques, qui existent continuellement, tendent à produire lentement des composés azotés complexes, et c'est ainsi que, d'après Boussingault, les eaux de pluie apportent au sol, par hectare et par an, 0 k. 33 d'azote. Un peu d'ammoniaque de l'air peut encore être pris par les organes foliacés des plantes. Mais la proportion d'azote fixée par ces divers procédés reste minime. M. Berthelot a montré, en outre[1], que l'action continue des sols argileux et de leurs organismes microscopiques fixait directement de l'azote atmosphérique en quantités notables (16 à 32 kilogr. d'azote par hectare et par an). Cette propriété est, en quelque sorte, exaltée par la présence de certaines plantes, telles que les légumineuses, dans les racines desquelles les microbes paraissent trouver un support et une matière convenable, qui excite leur activité.

Les expériences de M. Hellriegel ont montré qu'en effet les légumineuses (luzerne, trèfle, etc.) étaient aptes à se procurer directement l'azote dont elles ont besoin sans le prendre au sol : non pas précisément qu'elles fixent directement l'azote de l'air, mais parce qu'elles donnent naissance à des microorganismes dont le siège est dans leurs nodosités radiculaires et qui, eux, fixent l'azote gazeux. Avec les autres plantes, cette propriété est très atténuée; pourtant, d'après certaines expériences, l'orge et le seigle ne tireraient encore que 20 0/0 de leur azote du sol, le colza 30, la betterave 40, le blé 50 0/0.

1. *C. R.*, 26 oct. 1885.

A côté de l'azote pris à l'air, les plantes en empruntent une proportion généralement plus forte au sol, où il existe à l'état combiné, en azote nitrique et en azote ammoniacal[1], qui lui-même a une tendance constante à se transformer en nitrate; là, bien que l'ammoniaque puisse, d'après M. Müntz, être assimilée directement, il est certain qu'en principe cette ammoniaque doit d'abord avoir été transformée en nitrate soluble par la fermentation oxydante, à laquelle j'ai fait allusion plus haut : fermentation qui est continuelle dans le sol superficiel.

Cette nitrification dans le sol, sur laquelle je reviens maintenant, joue un rôle essentiel, non seulement dans la nourriture des végétaux, mais aussi dans l'assainissement des eaux chargées de matières organiques en décomposition, qui traversent la terre pour reparaître un peu plus loin en sources. Si elle n'existait pas, la plupart des eaux de sources seraient imbuvables. Voici ce que MM. Schlœsing et Müntz ont constaté à cet égard.

Quand des eaux chargées de matières organiques sont versées sur un sol meuble, fût-ce un sable calciné au préalable, celui-ci agit, d'abord, comme un filtre pour retenir mécaniquemeut les particules insolubles. Après quoi, s'opère l'épuration chimique, c'est-à-dire la combustion de la matière organique dissoute. L'eau, en imbibant la terre, enveloppe chaque parcelle de terre d'une couche infiniment mince, sur laquelle s'effectue la combustion, la nitrification, sous l'influence, ou du moins avec l'aide d'un ferment approprié, dit ferment

1. En agriculture, on a pris l'habitude de dire *azote nitrique*, *azote ammoniacal* pour les deux formes d'azote incorporées, l'une dans l'acide nitrique, l'autre dans l'ammoniaque.

nitrique, que le chloroforme arrête dans son travail en l'anesthésiant. Cette combustion transforme, en même temps, les particules solides retenues mécaniquement. Pour qu'elle puisse avoir lieu, il faut nécessairement que le sol soit aéré[1] et humide, et que sa température reste entre 5° et 55° ; il faut encore qu'il renferme du calcaire, sans être trop alcalin.

C'est sur ces faits expérimentaux qu'a été fondée l'utilisation des eaux d'égout auprès de Paris, dans la plaine de Gennevilliers. On affirme que le sol, où se produit cette épuration, garde néanmoins sa porosité et son pouvoir épurateur des premiers jours, sans aucun encrassement, même après vingt ou trente ans.

Il est à remarquer, d'ailleurs, que, pour être épurée en matières organiques, l'eau ainsi filtrée n'en reste pas moins chargée de sels en dissolution, nitrates, chlorures, etc., qui la rendent tout à fait impropre à la boisson.

C'est même sur la présence de ces sels, beaucoup plus que sur l'examen bactériologique, toujours délicat et souvent spécieux, qu'il convient de se fonder pour vérifier si l'on a affaire à une vraie source ou à ce que l'on appelle une *fausse source*, c'est-à-dire une source mêlée d'infiltrations superficielles, comme on en rencontre trop dans les villes. Duclaux a montré[2] qu'une eau, dans laquelle il s'était infiltré des purins, se reconnaissait aisément à sa richesse en chaux, chlore et nitrates.

1. Il ne faut pas, en agriculture, que l'oxydation ait lieu à trop forte température; car alors elle peut se faire trop vite et appauvrir le sol en azote.

2. *C. R.*, 1897, t. 125, p. 913, et *Traité de microbiologie.*

J'ajouterai seulement quelques remarques à la théorie précédente.

Tout d'abord, la nitrification exige, comme je l'ai dit, de l'humidité; c'est pourquoi elle se produit mieux dans les terres légères à éléments grossiers que dans les terres fortes à éléments fins : celles-ci, comme on dit, *conservent mieux le fumier*. Cela tient à ce que, les éléments étant trop fins, et par suite trop nombreux, la même quantité d'humidité se divise en une infinité de pellicules trop minces pour permettre le développement des microbes[1]. C'est aussi pourquoi la nitrification reprend, quand on a trituré la terre, parce que l'on a rompu ainsi les actions capillaires, qui retiennent l'eau autour des parcelles de terre. Dans ce dernier cas, ce n'est pas, comme on pourrait le croire, l'aération qui agit; car une aération, non accompagnée d'un brassage, ne produit pas le même effet[2].

La nitrification n'a pas seulement, comme nous l'avons vu, pour effet d'épurer les matières organiques; elle fournit, en même temps, aux plantes une partie de l'azote, dont elles ont besoin pour vivre, sous forme de nitrate assimilable. Pour que cette réaction donne un résultat fructueux en agriculture, il faut qu'elle ait lieu lentement, de manière à fournir le nitrate au fur et à mesure des besoins, sans le brûler tout d'un coup. Nous venons, en outre, de voir qu'elle exigeait un sol aéré et maintenu humide à une température moyenne.

M. Dehérain a fait observer, à ce propos[3], qu'une

1. Schloesing fils (*C. R.*, 1897, t. 125, p. 824).
2. Schloesing fils (*C. R.*, 1897, t. 125, p. 40).
3. *C. R.*, 1897, t. 125, p. 211; cf. Schloesing (*C. R.*, 11 mars 1895 et 1896, t. 122, p. 824.)

terre laissée en jachère pouvait, dans une seule saison, perdre, sous forme de nitrate, 200 kilogr. d'azote, correspondant à 1250 kilogr. de nitrate de soude. Les terres emblavées (c'est-à-dire semées en blé) élaborent beaucoup moins de nitrates, parce que l'évaporation des plantes herbacées dessèche le sol et arrête l'action du ferment nitrique.

Cette perte en nitrates, qui se produit toute les fois que l'industrie humaine n'intervient pas, semblerait devoir amener l'extinction assez rapide des végétaux laissés à eux-mêmes. Ceux-ci subsistent pourtant et, comme l'a montré M. Berthelot, il faut l'attribuer, en grande partie, à l'action des microbes fixateurs d'azote, qui sont solidaires des végétaux à chlorophylle fixateurs de carbone. La fixation de l'azote de l'air est corrélative de la destruction des matières organiques, le carbone de celles-ci activant les ferments. On considère, par suite, que les engrais verts et fumiers agissent, à la fois, par leur azote et par leur carbone.

En dehors de l'azote, le seul élément servant à nourrir les plantes, pour lequel il se pose quelques questions spéciales, est le *phosphore*. Ici l'aliment est, à n'en pas douter, puisé dans le sol; mais sous quelle forme, c'est un point encore discuté. D'après la théorie anciennement admise, ce phosphate ne pouvait arriver à la plante qu'à l'état de dissolution et devait avoir été, au préalable, transformé en superphosphate soluble, ou du moins se trouver sous forme de phosphate soluble dans le citrate d'ammoniaque, en évitant la présence du fer et de l'alumine (au delà de 5 0/0) qui provoque ce qu'on appelle la *rétrogradation*, c'est-à-dire ramène le superphosphate à l'état de phosphate bicalcique insoluble dans le citrate;

aujourd'hui il y a une tendance à réagir contre ces idées trop absolues et l'on considère que le phosphate de chaux simplement moulu en fine farine, ou même les scories de fer phosphatées, également moulues, peuvent donner d'excellents résultats, presque comparables à ceux des superphosphates[1].

L'assimilation des phosphates de chaux paraît se faire surtout par leur dissolution dans l'acide carbonique et les acides faibles; même les phosphates rendus insolubles par le fer et par l'alumine repassent à l'état soluble dans les carbonates alcalins. Enfin la matière humique soutire et solubilise de l'acide phosphorique, que les racines des plantes lui retirent ensuite par un véritable phénomène de dialyse.

C. **Engrais minéraux. Leur choix suivant les terrains et les cultures.** — Je reviens maintenant aux *engrais chimiques* et à leur mode d'emploi.

Le premier point est, évidemment, quand on veut améliorer un champ, de connaître la composition chimique moyenne de ce champ, soit par des analyses chimiques, soit, tout au moins, par une rapide reconnaissance géologique : point essentiel et pourtant négligé par la plupart des agriculteurs.

Pour faire cet examen d'une façon un peu sérieuse, il est bien utile d'avoir présentes à l'esprit quelques très simples notions de géologie. Combien de fois, en effet, n'arrivera-t-il pas que, dans la faible étendue d'un seul champ et, à plus forte raison, sur celle d'une

1. Voir, sur toutes les questions concernant les phosphates, le *Traité des gîtes minéraux et métallifères* par Fuchs et de Launay, Baudry, 1893, t. I, p. 309 à 411, ou un mémoire de M. Levat dans les *Annales des Mines*, 9e sér., t. VII, p. 1 à 260.

propriété, on ait les affleurements de quatre ou cinq terrains, aussi différents, par exemple, que les marnes de Meudon, les sables de Rilly et l'argile plastique, ou encore que le granite, avec des filons de quartz, et des argiles ou calcaires tertiaires superposés, ou encore (ce qui arrive constamment autour de Paris) que les calcaires crétacés et l'argile à silex, qui recouvre ceux-ci par places. Ces variations du niveau géologique, qui ont des conséquences si directes sur la valeur agricole du sol, le cultivateur les connaît, il est vrai, presque toujours empiriquement; il y voit ce qu'il appelle des veines de terrain différentes; mais, le jour où il se résigne, forcé malgré lui dans sa routine par le courant général, à demander une analyse, il envoie au chimiste une motte de terre quelconque et s'imagine que le résultat le renseigne en quoi que ce soit sur les engrais à employer dans toute sa propriété.

Ce n'est pas ainsi que l'on doit procéder. Il faut, d'abord, reconnaître sur le sol la disposition des diverses catégories de terrains : embryon de carte géologique, qui ne demande aucune connaissance spéciale; puis, pour chaque catégorie, il faut procéder à ce que l'on appelle une prise d'essai moyenne, c'est-à-dire prélever le plus grand nombre d'échantillons possible, de tous les côtés, sur ce terrain, les mélanger ensemble avec grand soin, après les avoir réduits en fine poussière, et finalement recueillir 100 ou 200 grammes du mélange, qui pourront subir, dans le laboratoire du chimiste essayeur, un nouveau mélange encore plus intime et donner les 4 ou 5 grammes sur lesquels on opérera l'analyse.

Cette analyse permettra de savoir les éléments qui manquent au sol; elle n'indiquera pas toujours que

les autres y sont en quantité suffisante; car elle ne fait pas connaître si ceux-ci y sont à l'état assimilable; on pourra quelquefois être renseigné sur ce dernier point en analysant les plantes que produit spontanément le sol et voyant, par suite, ce qu'elles ont pu en tirer.

Indépendamment de toute analyse, un sol se classe, presque à première vue, pour un œil un peu exercé, dans l'une au l'autre des catégories suivantes, dont on voit constamment revenir les noms (assez mal définis d'ailleurs) dans les ouvrages relatifs à l'agriculture : sableux, siliceux, argilo-siliceux, argileux, argilo-calcaires, calcaires, tourbeux, marécageux, acides : catégories dont l'analyse permettra de préciser la nature[1].

Un *terrain sableux* est léger, d'un travail facile, sans consistance, absorbant l'eau avec rapidité et se desséchant aisément. Mêlé à du terreau, il forme la terre de bruyère. On y voit pousser, d'après Delesse, les pins maritimes, le réséda jaune, la petite oseille, etc.

Ce terrain sableux n'est pas nécessairement siliceux, mais il l'est en général; inversement, un *terrain siliceux* peut fort bien n'être pas sableux. Quand il n'est pas mêlé d'argile, un terrain siliceux est également léger et sans consistance; mais, souvent alors, il est de peu d'épaisseur et superposé directement à des roches cristallines, à des quartzites, etc.; il y pousse des châtaigniers, des digitales, etc.

Un *terrain argileux* est l'opposé d'un terrain sableux; il est lourd, compact, retenant l'eau avec force et formant avec elle une boue glissante; la

1. Je renvoie, pour les analyses de quelques terrains, au tableau donné page 30.

sécheresse le fendille. L'argile pure ou ferrugineuse constitue la glaise et la terre à briques, très mauvaises pour la culture; avec du calcaire, on a des terres argilo-calcaires, ou *terres fortes*; avec du sable, des terres argilo-sableuses, ou *terres légères*. Les sols argileux sont caractérisés par la chicorée sauvage, la laitue vireuse, l'agrostis traçante; les sols argilo-calcaires par le frêne, le sainfoin, la laitue vivace.

Les *terrains calcaires* sont ceux où le carbonate de chaux prédomine; quand le calcaire est pur, il forme un mauvais terrain maigre, peu fertile, laissant fuir l'eau par d'innombrables fissures et présentant peu de terre végétale, comme en Champagne ou dans les Causses. Avec de l'argile, on peut avoir, au contraire, des terres fortes, comme celles de la Limagne. Sur les calcaires poussent le noyer, le noisetier, le chardon, le coquelicot.

Les *terrains tourbeux et marécageux* sont impropres à la culture à cause de leur acidité et de leur trop grande humidité; cette acidité a besoin d'être neutralisée par une base, qui est la chaux; l'eau doit être, en outre, écoulée par des drainages.

Les terres siliceuses et argileuses sont exposées à devenir également acides, surtout après avoir été quelques années en prairies : ce qui se reconnaît aussitôt à l'abondance des mousses au lieu d'herbes. Il faut alors y ajouter de la chaux ou de la marne (c'est-à-dire un mélange de calcaire et d'argile).

Pour un cultivateur, l'aspect des récoltes confirme aisément le résultat de l'examen géologique ou chimique et vient préciser la nature du sol : par suite, la catégorie des engrais et amendements à employer.

Ainsi, quand le blé et les autres céréales donnent

beaucoup de paille et versent fréquemment, c'est, d'après M. de Mauroy, que le sol superficiel est riche en azote; quand il est pauvre en azote, le blé reste court, les feuilles au printemps sont étroites et souvent jaunâtres. La betterave, qui a des racines profondes tandis que le blé en a de courtes, renseigne de même sur les parties profondes du sol et même sur le sous-sol; si elle pousse vigoureusement, c'est qu'il y a abondance d'azote.

Dans les terrains argileux des fonds de vallée, l'azote est souvent abondant, ainsi que la potasse, mais le phosphore manque; les luzernes et pommes de terre donnent alors d'abondantes récoltes; mais le blé est maigre. Dans les terres hautes, si le grain du blé est bien plein et lourd, c'est qu'il y a de l'acide phosphorique.

La luzerne vient bien quand le sous-sol est riche en potasse; la pomme de terre, quand le sol superficiel en contient abondamment.

Les terrains produits par la désagrégation des roches granitiques sont très riches en potasse, mais souvent pauvres en chaux et aussi en phosphore.

A ces premières observations, on peut joindre l'examen géologique des couches formant le sous-sol immédiat; il peut, en effet, y avoir intérêt à les ramener à la surface par un labourage profond; quelquefois aussi, en défonçant une couche imperméable, on assure aux eaux stagnantes un écoulement.

Voyons maintenant de quel supplément telle ou telle culture aura besoin dans un terrain donné (notion toute théorique, qui gagnera à être précisée, en pratique, par un champ d'expériences).

Dans chaque famille de plantes, il y a ainsi un

élément, qui joue un rôle essentiel, qu'on appelle *la dominante*, par exemple : l'azote pour les betteraves, carottes, choux, prairies naturelles, colza, blé, seigle, orge, avoine, riz, etc.; le phosphore pour le maïs, la canne à sucre, les raves, le sarrasin ; la potasse pour les légumineuses (luzerne, trèfle, sainfoin, haricots, etc.), pour la pomme de terre et pour la vigne.

L'analyse des cendres végétales montre les éléments dont chaque plante a besoin; les chiffres suivants indiqueront dans quelle proportion approximative :

COMPOSITION (en gr. par 100 kilos de matière végétale)	ACIDE phosphorique	POTASSE	CHAUX	MAGNÉSIE	TOTAL
Blé grain.....	490	250	30	125	895
Blé paille.....	31	100	70	45	246
Haricots (grain)...	340	350	58	90	838
Pommes de terre (tubercules).....	120	530	19	53	722

Suivant M. Joulie, 1 000 kilogr. de bon blé renferment 12 k. 88 d'azote, 4 k. 53 d'acide phosphorique, 17 k. 30 de potasse, 3 k. 60 de chaux, 1 k. 66 de magnésie. Il faut, pour le cultiver, un sol qui renferme, aux 100 kilogr. de terre sèche, 100 grammes d'azote, 100 d'acide phosphorique, 250 de potasse, 5 000 de chaux et 300 de magnésie. Un chaume moyen sec pèse 2 gr. 173.

D'après ce tableau, la pomme de terre veut surtout de la potasse; le blé, de l'acide phosphorique et de la potasse. Dans le blé, au moment de la maturité, tout l'acide phosphorique va se concentrer dans le grain, tandis que la moitié de la potasse redescend dans le

sol; il y a donc, de ce chef, lieu de forcer la proportion de potasse pour assurer la floraison.

Quant à l'azote, qui n'apparaît pas dans les cendres, il semble, suivant les cas, comme nous venons de le voir, pouvoir être emprunté par les plantes, en proportions plus ou moins fortes, à l'air : ce qui évite d'en fournir comme engrais au sol. Ainsi les légumineuses n'ont pas besoin d'engrais azotés. Au contraire, le blé, qui en prend 50 0/0 au sol, la betterave, qui en prend 40 0/0, le colza 30 0/0, l'avoine 20 0/0 (le reste étant pris à l'air) ont besoin de tels engrais.

L'azote pousse surtout au développement des parties herbacées des végétaux; en sorte que son excès peut avoir des inconvénients : par exemple, pour les céréales, dans les terres où elles sont sujettes à la verse, ou pour les haricots et pois, dont le rendement en grain diminue, quand la taille augmente.

En général, il faut restituer à la plante tous les éléments dont elle se nourrit et non pas seulement le principal. La chose, si évidente qu'elle soit, a besoin d'être dite; car on l'a souvent méconnue. Il est facile, par l'analyse du sol, de reconnaître ce qu'il fournira de lui-même et ce qu'il faut, au contraire, lui ajouter, pour qu'il le transmette au végétal.

En outre, il convient de ne pas oublier le rôle de l'humus, qui manque avec les seuls engrais chimiques et que redonne seul le fumier. L'humus, c'est-à-dire la matière végétale décomposée, enrichie en carbone et appauvrie en eau, mélange de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, paraît agir en rendant le terrain plus meuble, en lui permettant, par suite, d'absorber de l'eau, qui le maintient humide dans les

sécheresses; en outre, il fournit, avec l'oxygène de l'air, de l'acide carbonique, qui facilite l'attaque de certains minéraux insolubles et, par suite, l'assimilation des éléments utiles qu'ils renferment. Nous avons vu que cette combustion du carbone activait, en même temps, le travail des microbes fixateurs d'azote.

On restitue de l'humus au sol par les engrais verts

Les *engrais chimiques utilisés* sont[1] :

Pour l'azote.....	Matières organiques azotées; sulfate d'ammoniaque, obtenu par le traitement des eaux vannes ou des eaux d'usine à gaz; nitrates de soude naturels du Pérou ou nitrates de potasse; guanos.
Pour le phosphore.	Phosphates moulus; scories phosphatées; superphosphates; os pulvérisés; noir animal.
Pour la potasse....	Sels de potasse de Stassfurt (nitrate, chlorure, sulfate ou carbonate); cendres carbonatées de varechs et d'autres végétaux.
Pour la chaux.....	Chaux et ses composés.

Le *sulfate d'ammoniaque* s'applique surtout aux plantes à racine superficielle; en présence d'un sol crayeux calcaire, il donne aussitôt du sulfate de chaux, c'est-à-dire du plâtre et du carbonate d'ammoniaque, qui, étant volatil, peut se perdre rapidement, de sorte que son action, très vive, est alors de courte durée. On dit couramment que le sulfate d'ammoniaque est sans effet dans les terres légères, dangereux dans les calcaires et ne convient qu'aux terres fortes.

On se heurte à un défaut analogue, si l'on mélange

1. Une loi spéciale du 4 fév. 1888 est destinée à réprimer les fraudes dans le commerce des engrais.

le sulfate d'ammoniaque avec la chaux : il se produit de l'ammoniaque libre, qui agit aussitôt, mais se perd vite.

L'action est encore semblable quand on met du fumier, c'est-à-dire un engrais azoté, sur un terrain crayeux, ou sur un terrain argileux, auquel on a ajouté de la chaux par chaulage; dans les deux cas, la décomposition du fumier est accélérée.

Au contraire, l'humus retient l'ammoniaque produite et ralentit la réaction ; c'est donc, dans les terres riches en humus et peu chargées de chaux, que le sulfate d'ammoniaque donne les meilleurs résultats.

Les *nitrates de soude ou de potasse* conviennent aux plantes à racine profonde; ils ne se décomposent pas au contact de la chaux et du carbonate de chaux; mais ils peuvent être entraînés par les eaux pluviales, hors de la portée des plantes.

Les *phosphates* ne peuvent être employés que moulus en poudre très fine; il est, en outre, nécessaire, comme je l'ai dit, qu'ils contiennent le phosphore sous une forme assimilable. Je rappelle seulement que l'on rejette, en général, les phosphates contenant plus de 5 0/0 de fer et d'alumine.

La plupart des terrains contiennent naturellement un peu de phosphore (traces dans les schistes siluriens des Ardennes, 0,02 0/0 dans les phyllades, 0,06 dans le calcaire dévonien de Givet, 0,09 dans l'orthose des eurites, 0,20 dans la diorite de la même région); quelques-uns en renferment des proportions beaucoup plus fortes, ce qui leur permet de se passer d'engrais chimiques; mais, en principe, ces derniers sont presque toujours nécessaires, et l'analyse du sol permettra de savoir dans quelle mesure.

La *potasse* est surtout nécessaire pour la vigne, les pommes de terre, les légumineuses; mais beaucoup de terres en renferment, par elles-mêmes, une quantité suffisante.

L'emploi de la *chaux*, indispensable à toutes les plantes, améliore considérablement certains sols, surtout les sols argileux, les terres tourbeuses, généralement tous les terrains acides; son application a complètement transformé certaines régions granitiques, autrefois stériles, par exemple dans le Plateau Central. On emploiera, le plus souvent, la chaux vive, parfois aussi la *marne* (mélange de carbonate de chaux et d'argile), qui forme le sous-sol sur bien des plateaux de la Normandie, où le sol lui-même est argileux ou argilo-siliceux. La chaux, en s'unissant aux acides, les neutralise; elle met de plus en liberté l'azote des matières organiques et même la potasse de certaines roches; mais elle peut brûler certaines plantes délicates. Le plâtre, ou sulfate de chaux, et le phosphate de chaux apportent également de la chaux. On préfère le chaulage pour les terrains acides, le marnage pour les terrains argileux ou siliceux.

Le *plâtre* est employé comme amendement pour les légumineuses et les crucifères. Il paraît avoir pour effet de faire passer les alcalis de la couche superficielle dans la couche profonde, où les racines de ces plantes vont le chercher. On l'utilise généralement sur les plantes déjà poussées; car son effet est immédiat.

D. **Recherche locale des engrais minéraux et amendements.** — Indépendamment du premier service que la géologie peut rendre couramment à l'agriculture en faisant connaître la nature du sol et,

par suite, avant toute analyse chimique, les éléments qui doivent lui faire défaut, elle peut, en outre, apprendre aux agriculteurs à découvrir, dans leur voisinage immédiat, les engrais et amendements dont ils ont besoin et que, sans cela, ils devraient faire venir de loin à grands frais.

Je ne parle pas ici, bien entendu, de découvrir et de mettre en exploitation de grands gisements de phosphate de chaux, de pierre à chaux, de plâtre, etc. ; une telle entreprise, qui sort du domaine ordinaire des agriculteurs, sera mieux étudiée, quand nous nous occuperons de la mise en valeur des richesses minérales. Mais il arrive souvent, en outre, qu'on reconnaisse, sur sa propriété la présence d'engrais à basse teneur, de phosphates pauvres, de terres gypseuses, de marnes, de mauvaises pierres à chaux, etc., en un mot, de substances qui pourraient ne pas mériter un transport et être incapables d'alimenter un commerce, mais qui, extraites à temps perdu par le propriétaire lui-même, sont susceptibles d'améliorer considérablement ses terres.

En fait de phosphates, on doit toujours être en éveil quand, aux affleurements d'un terrain sédimentaire quelconque, on observe, dans les parties décomposées, des nodules arrondis, des boules ou rognons pierreux, qui ne sont pas des silex. Il y a souvent des chances pour qu'ils renferment du phosphate. C'est ainsi qu'on a trouvé récemment, dans le dévonien des Pyrénées, des nodules phosphatés qui ressemblaient à des œufs aplatis en graphite; les phosphates de l'Auxois, du Boulonnais, etc., sont également en rognons. Dans l'Indre et le Cher, il y a plusieurs niveaux de phosphates liasiques pauvres,

qui seraient ainsi susceptibles d'une application locale.

Les craies brunes, dont on peut connaître le type en regardant un échantillon de Ciply, sont, elles aussi, à examiner dans tout le nord de la France.

Il y a enfin intérêt à suivre, par des coupes géologiques, les niveaux de terre gypseuse, de marne, etc., qu'un puits peu profond permettra parfois d'atteindre directement.

Enfin, l'examen géologique de la propriété renseignera sur la distribution des eaux souterraines et, dès lors, sur la possibilité, soit de les recueillir et capter, soit, au contraire, de les éliminer et drainer : deux problèmes qui jouent un rôle capital dans tant d'exploitations agricoles.

Pour toutes ces diverses applications, la méthode est toujours la même : établissement d'une carte géologique sommaire et de quelques coupes en travers, passant par les points les plus intéressants. Je n'ai pas à revenir, à cet égard, sur ce que j'ai dit déjà dans le chapitre III.

E. **Cartes agronomiques**. — Afin de centraliser et de condenser les renseignements divers qu'un agriculteur peut avoir intérêt à connaître sur ses terrains, on a cherché, à diverses reprises, à faire des *cartes agronomiques*. L'expérience a montré qu'elles ne pouvaient jamais être assez détaillées pour rendre des services directs et que la meilleure carte agronomique était, en réalité, une carte géologique, dont on avait appris à se servir, comme nous avons essayé de le faire précédemment, ou dont on avait utilisé les contours géologiques en donnant aux terrains, ainsi distingués les uns des autres, leur définition agricole.

Les travaux de Belgrand sur le bassin de la Seine ont établi, notamment, le rapport intime qui existe entre la carte géologique et la carte de perméabilité, cette propriété de la perméabilité ayant elle-même son contre-coup très direct en agriculture[1]. Sur les terrains imperméables, on trouve les prairies naturelles même à flanc de coteau et on peut élever des troupeaux de bœufs, à moins que le sous-sol granitique ne donne des terrains tourbeux; sur les terrains perméables, les prairies sont réduites aux fonds de vallées, où elles sont souvent marécageuses, et les troupeaux de moutons remplacent les bœufs, etc.

Incidemment, la géologie permettra de rectifier certaines idées fausses très répandues, qui ont parfois des conséquences en pratique.

Ainsi, dans bien des terrains à cailloux de silex, comme l'argile à silex, surtout s'ils sont un peu en pente, on entendra dire que les cailloux repoussent à mesure qu'on les enlève. Cela signifie simplement que l'argile, débarrassée de ses cailloux, est entraînée constamment par le ruissellement; la charrue rend meuble une couche plus profonde et les cailloux de celle-ci apparaissent peu à peu au jour, en se dégageant de leur gangue argileuse, entraînée vers la vallée.

1. Voir Durand Claye, *Hydraulique agricole*, I, p. 178.

CHAPITRE VI

Application de la géologie : 1° à la recherche et au captage des eaux[1] ; 2° à l'irrigation ; 3° au drainage ; 4° à l'évacuation des eaux souillées et à l'hygiène publique.

1° Moyens de s'alimenter en eau. — A. Eaux de pluie, citernes, étangs et mares. — B. Eaux courantes, ruisseaux et fleuves; leurs nappes profondes. — C. Eaux souterraines. Leurs divers modes de circulation et de suintement. — Sources éparpillées des granites; niveaux d'eau des strates poreuses; sources abondantes et localisées des terrains calcaires. — Nappes artésiennes. — Filons formant des plans d'eau.

De la contamination des eaux, de leurs impuretés organiques et minérales; leur bassin d'alimentation; leur purification possible dans le trajet souterrain par filtrage et nitrification. — Captage par fontaines, puits, galeries, etc.

2° Irrigation.

3° Drainage des eaux. Assainissement des terrains tourbeux et marécageux. Desséchement.

4° Evacuation des eaux contaminées organiquement ou chimiquement; puits absorbants, couches absorbantes, etc.

Parmi les questions qui intéressent et préoccupent, à juste titre, toute personne vivant à la campagne et pour lesquelles elle peut être disposée à invoquer le secours de la géologie, il n'en est peut-être pas de plus importante que celle de se procurer de l'eau pour

1. On dit aussi captation.

la boisson, la cuisson des aliments, l'arrosage ou les usages agricoles et celle de régler, de drainer, d'évacuer, dans d'autres cas, les eaux superficielles trop abondantes sur un point, ou impures. Cette même question de l'alimentation en eau potable se pose, avec une acuité particulière et que chacun connaît, dans le cas des anormales agglomérations humaines, que forment les capitales modernes, ou seulement les grandes villes; dans ce cas, c'est l'ingénieur hydraulicien qui aura besoin de se faire géologue. Enfin l'industriel, l'usinier auront souvent à évacuer des eaux contaminées, en les purifiant d'abord par leur passage à travers certains terrains pour ne pas en souiller les rivières, et ce problème, qui existe pour toutes les vidanges aux abords des grandes villes, offre, lui aussi, un intérêt de premier ordre, en même temps qu'une matière à discussions sans cesse renaissantes.

C'est donc, si je voulais être un peu complet, tout un ouvrage qu'il y aurait ici à écrire, au lieu d'un seul chapitre; mais, renvoyant pour les détails à d'autres livres, où les éléments du sujet existent, tout au moins à l'état disséminé [1], je vais me borner ici à quelques notions générales.

Pour l'étude que nous allons entreprendre, la propriété essentielle, qu'il faudra envisager dans les terrains, sera leur perméabilité plus ou moins grande,

1. Voir par exemple : Daubrée, *Les eaux souterraines*, 3 vol (Dunod, 1888); les divers travaux de E.-A. Martel sur la contamination des eaux dans les terrains calcaires (*les Abimes*, etc.); puis Durand Claye, *Hydraulique agricole et génie rural* (2 vol. chez Doin, 1892); Bechmann, *Cours d'hydraulique agricole à l'École des ponts et chaussées*, 1895, et toute la bibliographie que j'ai donnée, p. 417 à 420 de mon *Traité des sources thermo-minérales* (Baudry, 1898).

l'accès plus ou moins large qu'ils offriront à la circulation des eaux; l'observation géologique aura surtout pour but de faire prévoir les strates poreuses et les obstacles infranchissables que pourront rencontrer les eaux, soit en profondeur, soit à la superficie. Il est donc nécessaire de commencer par rappeler la façon dont se comportent, à cet égard, les diverses natures de terrains géologiques.

Si l'on prend les choses d'un point de vue absolu, aucun terrain n'est impénétrable aux eaux; car, mise à sec, la roche la plus compacte reprendra ce qu'on appelle l'*eau de carrière*, qui l'imprègne ordinairement. Au milieu d'un gneiss, même à aspect très imperméable, il arrivera parfois que tous les puits et sondages rencontreront de l'eau.

Dans la pratique, cependant, les argiles, les marnes, les schistes argileux, la plupart des roches cristallines, les filons de quartz s'opposent, en principe, à la pénétration des eaux, sauf le cas de fissures accidentelles; on cite, à cet égard, le cas de travaux faits sous la mer dans les mines de Bottalack en Cornouailles, ou de Diélette dans la Manche, sans qu'il y ait eu d'infiltration, celui du tunnel du Mont-Cenis, où l'eau manquait tellement qu'on était obligé de l'apporter du dehors; la présence d'une strate argileuse, en empêchant la descente des eaux retenues à sa partie supérieure, détermine souvent une ligne de sources sur son affleurement. En profondeur, la même strate peut, au contraire, s'opposer à la remontée des eaux accumulées sous pression et que le principe des vases communiquants ramènerait autrement vers le jour : c'est ainsi que se produit, au-dessous d'elle, une nappe artésienne

A l'opposé de ces roches imperméables, les graviers et les sables non argileux peuvent être pris comme types de terrains perméables. A la surface, ils laissent l'eau pénétrer et empêchent l'existence de rivières permanentes; en profondeur, ils l'accumulent sous forme de nappes, ou niveaux d'eau, qui, sans présenter la régularité absolue qu'on leur attribue, sont néanmoins assez continus. Le grès, formé de sable agglutiné, est également parfois accessible à l'eau, de même que la tourbe, où cette eau s'accumule, comme en un réservoir permanent. Dans les sables, grès ou graviers, la pénétration se faisant par d'innombrables pores, il peut y avoir, non seulement filtrage mécanique, mais purification analogue à celle qu'on réalise dans les filtres en porcelaine poreuse; les expériences des champs d'irrigation de Gennevilliers, etc., aux environs de Paris, ont montré que l'eau se débarrassait alors de ses matières organiques en dissolution, transformées en nitrates [1].

Il en est tout autrement dans la plupart des calcaires, qui sont perméables aux eaux, non plus par leurs pores, mais par leurs fissures ou diaclases, c'est-à-dire par des chenaux suffisamment larges pour que la purification ne s'y fasse en aucune manière. La craie même ne laisse guère l'eau circuler que par ses fissures, ici beaucoup plus petites en général; il peut, il est vrai, dans son cas, se faire une certaine pénétration par porosité, mais qui joue un rôle bien faible; car on a calculé que l'effet d'une pluie sur une colline crayeuse non fissurée, de 90 mètres de haut, atteignait seulement son maximum au bout de seize mois.

1. Voir, à ce sujet, les travaux de Schloesing, etc., résumés p. 111 à 118.

C'est donc une très grave erreur, ainsi que l'ont bien montré les explorations directes de M. Martel, de parler de niveaux d'eau dans les calcaires, alors qu'il peut y avoir un réseau hydrologique de ruisseaux souterrains plus ou moins larges, coulant par exemple sur une strate argileuse à la base, et cette erreur peut avoir des conséquences désastreuses, si l'on en conclut à une purification certaine de ces eaux, qui peuvent parfaitement avoir traversé tout un massif calcaire et en sortir avec l'apparence de larges sources bien limpides, tout en restant exposées à la contamination superficielle.

Examinons maintenant les divers problèmes que nous nous sommes posés en commençant :

1° **Recherche et captage des eaux naturelles.** — Il est inutile de rappeler à quel point l'eau est, pour l'homme, les animaux et les plantes, une substance de première nécessité : le simple aspect de ce que devient la vie, là où cet élément précieux fait défaut, suffirait à en convaincre.

Cette eau, dont l'homme a un besoin si essentiel et si constant, la nature la lui fournit sous des formes diverses : pluies tombant du ciel; fleuves, ruisseaux, et torrents coulant à la surface; sources remontant de la profondeur; nappes souterraines susceptibles d'être atteintes par des travaux plus ou moins profonds. Suivant les cas, il recourra à l'un ou l'autre de ces moyens pour s'alimenter [1].

1. Je rappelle ici, pour mémoire, le rôle des végétaux dans l'évaporation (et, par suite, dans la circulation des eaux), que les travaux de Dehérain ont contribué à élucider. Les végétaux évaporent une quantité d'eau notable, très variable avec l'espèce de la plante et avec la lumière, à peu près indépendante, au contraire, de l'état de saturation de l'atmosphère. Un

A. — Je sortirais de mon sujet si je parlais ici des eaux de pluie, que l'on recueille dans des citernes maçonnées, en utilisant les surfaces de réception fournies par des toits; mais, ailleurs, on emmagasine les eaux dans des étangs ou mares, obtenus, soit en barrant une vallée par une digue souvent considérable, soit en creusant une simple dépression dans un sol à fond imperméable, et ici la géologie doit intervenir.

Le premier procédé, à savoir le barrage d'une vallée étroite, par lequel on capte, en même temps, les ruisseaux qui suivent le thalweg, a été appliqué parfois dans de très vastes proportions pour l'alimentation d'eau de toute une ville, comme les barrages du Furens près de Saint-Étienne[1], le réservoir des Settons dans la vallée de la Cure, etc.; il sert également, dans un pays comme le Witwatersrand du Transvaal, à recueillir, pendant l'hiver pluvieux, les eaux nécessaires à alimenter les usines, où l'on extrait l'or, durant six mois entiers de sécheresse. Pour asseoir un semblable barrage, qui aura à supporter des charges d'eau parfois énormes, il est indispensable de s'assurer qu'on l'arcboute des deux côtés à des roches inébranlables et imperméables, où l'eau ne pourra pas se frayer une issue, qu'elle ne pourra pas désagréger peu à peu et faire effondrer; il faut également que le sous-sol ne se prête pas à une infiltration d'eau, qui viendrait ébranler les fon-

hectare de maïs évapore 36^{m3} d'eau par temps clair, 11^{m3} par temps couvert, presque rien dans l'obscurité. Pour produire 1 kilogramme de blé, il faut enlever au sol au moins 1 000 kilogrammes d'eau.

1. Durand Claye, *Hydraulique agricole*, t. I, p. 40.

dations et n'offre pas de fissures. Aussi construit-on souvent ces ouvrages au milieu de roches cristallines, comme le granite ou le gneiss, dans lesquelles on est sûr de ne rencontrer ni délits argileux susceptibles de foisonnement, ni sables poreux.

Un exemple malheureusement trop net du danger qu'il peut y avoir à établir un de ces grands ouvrages sans étude géologique préalable a été fourni par le barrage de l'Habra (province d'Oran), construit en 1873, emporté par une crue en 1881. Dans ce cas, on n'avait pas pris garde qu'on s'établissait sur des grès schisteux, coupés par des diaclases.

Dans des proportions beaucoup plus modestes, une propriété, située à flanc de coteau, sur un terrain d'argile superposé à des calcaires fissurés, où il n'existe pas de niveau d'eau susceptible d'alimenter des puits, pourra avoir parfois intérêt à concentrer les eaux de pluie d'une cuvette naturelle, en la fermant par un barrage.

L'usage des simples mares creusées dans l'argile est très usité dans certains pays : par exemple, sur les plateaux de Normandie, pour l'alimentation en eau du bétail et même des hommes. Ces plateaux, formés d'une craie fissurée, dans laquelle les puits ne pourraient rencontrer une nappe d'eau permanente, sont recouverts d'une argile à silex, qui, généralement, est propre à retenir les eaux dans les petites dépressions superficielles ; il importe alors de ne pas enlever peu à peu, par des curages successifs (comme on le fait quelquefois), toute l'épaisseur souvent faible de l'argile, jusqu'à mettre à nu le calcaire du dessous ; sinon l'on verrait la mare ou l'étang se tarir.

De semblables étangs, pour la plupart obtenus

artificiellement par un barrage, existent sur nombre de couches argileuses, par exemple sur l'argile plastique des environs de Paris, sur l'argile plus sableuse de la Sologne ou de la Sologne bourbonnaise, etc.

Il est à peine besoin d'ajouter que toutes ces mares, ces étangs superficiels, se contaminent promptement par la fermentation des matières organiques qu'on ne peut empêcher d'y tomber.

B. — Au lieu de tomber du ciel, les eaux, au moment où on les utilise, peuvent avoir été déjà concentrées par le ruissellement dans les dépressions du sol, où elles forment des ruisseaux, torrents, rivières ou fleuves.

Une telle circulation des eaux sur le sol ne peut évidemment se faire que si celui-ci est imperméable, ou bien s'il est imbibé d'eau jusqu'au lit du ruisseau : autrement, l'eau superficielle s'infiltrerait et disparaîtrait, ainsi qu'elle le fait dans certains terrains poreux, comme les sables de Fontainebleau, où toutes les vallées sont à sec. Dire que le sol est imbibé d'eau jusqu'à la surface, c'est dire que le niveau hydrostatique, dont j'ai donné plus haut la définition[1], vient ici se raccorder avec cette surface, tandis qu'ailleurs il s'enfonce plus ou moins profondément dans le sol. Ce niveau hydrostatique étant sujet à se modifier avec le régime des pluies, il arrivera, pour des rivières coulant sur un sol poreux ou fissuré, qu'après une période de sécheresse elles disparaîtront au jour et

1. Page 50. Des deux côtés d'une rivière, le sol contient de l'eau en profondeur, non pas parce que la rivière s'y infiltre, mais, au contraire, parce que cette rivière reçoit l'alimentation de ces nappes profondes, qui sont toujours à un niveau plus élevé qu'elle (le niveau hydrostatique).

se réduiront à un cours d'eau souterrain. Si cette sécheresse constitue un régime permanent, le cours d'eau peut être toujours souterrain. C'est là une observation utile à faire; car, alors, une fois sa direction profonde déterminée, on peut aller le rechercher par des sondages. Le procédé a été appliqué en grand dans le sud de l'Algérie et a permis de fertiliser des contrées entières.

Dans le cas d'une eau courante superficielle, on n'a pas, en général, à se préoccuper de la perméabilité plus ou moins grande du sol au-dessus duquel elle circule; c'est là un fait naturel, sur lequel on n'a pas d'action et qu'on se contente d'observer pour en tirer les conséquences. Il est tout à fait exceptionnel d'avoir à rendre étanche le lit d'un cours d'eau pour l'empêcher de s'infiltrer dans le sol; cela se fait pourtant parfois dans les régions minières, dont le sol est toujours disloqué par les travaux et pour les eaux duquel ceux-ci constituent un appel, un drainage : on peut être alors amené à retenir une rivière, qui traverse un tel champ minier, dans un lit imperméable en béton, afin de n'avoir pas à l'épuiser tout entière par les pompes de mines; ce travail ne se fait jamais sans difficulté.

La considération de la perméabilité du sol interviendra plutôt si, pour une raison quelconque, on est amené à détourner les eaux de leur lit naturel dans un lit artificiel, comme dans le cas d'une dérivation, d'un canal d'adduction d'eau, d'une rigole d'irrigation, etc. Il va sans dire qu'il faut alors s'assurer qu'on n'établira pas ce lit artificiel sur une couche poreuse ou fissurée, dans laquelle l'eau se perdrait.

De semblables eaux, coulant à la surface, sont presque toujours souillées et impropres à la boisson; la chaleur du soleil entretient une fermentation des matières organiques, qui ne peuvent manquer d'y tomber. S'il s'agit d'une rivière traversant une grande ville, elle en emporte au départ toutes les souillures. Mais, par un phénomène heureux, la fermentation purifie peu à peu ces matières organiques, en les transformant en ammoniaque volatile, ou en nitrates. La proportion d'azote organique non encore transformé indique assez bien le degré d'impureté de l'eau. Elle est, pour la Seine, en grammes par mètre cube (analyses de 1874) de 1 gr. 51 au débouché du collecteur de Clichy, 0,81 à Marly, 0,79 à Maisons-Laffitte, 0,45 à Poissy, 0,40 à Meulan et tombe à zéro à Mantes. En même temps, la proportion d'oxygène dissous passe de 1 centimètre cube à 10 centimètres cubes par litre : ce qui fixe l'intensité de la fermentation déjà produite.

Mais, si impure que soit la rivière, elle peut néanmoins fournir une eau potable, quand elle coule, ainsi que cela arrive souvent, dans une vallée d'alluvions, sur des couches plus ou moins épaisses et plus ou moins régulières de sable et de graviers; dans ce cas, en effet, ces derniers, ainsi que je le faisais remarquer tout à l'heure, ne peuvent manquer d'être entièrement imbibés d'eau, pour que la rivière continue à couler au-dessus. Il y existe donc des nappes, ou des cours d'eau souterrains, qui ont subi la filtration mécanique et bactériologique de ces sables et auxquelles on a souvent recours avec succès pour l'alimentation d'eau des villes, à la condition d'opérer le captage à une profondeur suffisante pour éviter

toute contamination possible et de ne pas laisser de mélange se faire avec les eaux impures de la superficie. Quelquefois aussi, on peut y puiser l'eau nécessaire à une simple propriété, située trop haut pour avoir des puits, en la remontant par un bélier hydraulique, une turbine, ou tout autre procédé. Remarquons seulement, à ce propos, que les couches à travers lesquelles l'eau filtre ne peuvent la purifier qu'en se chargeant elles-mêmes de ses impuretés, qu'elles retiennent mécaniquement et qui peuvent, dans certains cas, obstruer peu à peu les pores, produire ce qu'on appelle un colmatage. En ce qui concerne l'action oxydante et comburante sur les matières organiques, l'expérience paraît avoir montré, au contraire, que le sable filtrant conservait presque indéfiniment sa valeur.

C. — Enfin, le meilleur moyen d'alimentation en eau que possède l'homme, ce sont les nappes souterraines, soit qu'on se contente de les recueillir sur leur émergence naturelle, où elles forment des sources, soit qu'on aille les chercher en profondeur par des travaux plus ou moins compliqués, dont nous venons d'avoir déjà incidemment un ou deux exemples : travaux, qui consistent surtout en puits et sondages, accessoirement en galeries de drainage souterraines.

Les sources naturelles peuvent être alimentées par de simples circuits irréguliers et superficiels des eaux dans un terrain meuble, éboulis, graviers, arènes granitiques. Plus souvent, elles se trouvent sur l'affleurement d'une strate poreuse, superposée à une argile impénétrable, ou, au contraire, recouverte par celle-ci. Dans les calcaires, ou, plus rarement, les grès

fissurés, les eaux souterraines peuvent former de vrais ruisseaux localisés, qui arrivent à la surface, soit en descendant par la gravité, soit en remontant par la pression sous la forme dite vauclusienne, en des points d'élection spéciaux, où elles constituent, dès leur émergence, de vraies rivières. Enfin, l'on voit des eaux sortir de terre le long de certains filons compacts (quartz, etc.), qui ont joué pour elles le rôle de plans de drainage. Nous allons bientôt passer en revue ces divers cas.

Quand il n'existe pas de sources naturelles, on peut aller chercher artificiellement l'eau en profondeur. Le procédé le plus simple est de descendre jusqu'à cette surface, définie plus haut comme surface hydrostatique, au-dessous de laquelle j'ai dit que le sol était toujours imprégné d'eau. Cette surface, qu'on atteindra le plus souvent par un puits de quelques mètres, mais qui peut exceptionnellement être à une grande profondeur au-dessous de la superficie, forme, dans le premier cas, ce qu'on a appelé la *nappe phréatique*, *waterplain*, ou *grundwasser*. Quand un semblable puits ne donne pas de résultats, parce qu'il faudrait le faire trop profond, on peut encore, comme je vais l'expliquer, aller chercher l'eau d'un filon aquifère par une galerie, ou celle d'une nappe artésienne par un sondage : ce dernier procédé, s'il peut s'appliquer, ayant l'avantage que, l'eau une fois atteinte, elle monte d'elle-même au jour, sans qu'on ait besoin de la pomper.

Les études relatives au captage des eaux souterraines dans une région peuvent être simplifiées par l'existence préalable d'une carte hydrologique, analogue à celle que M. Delesse a faite au 1 : 25.000^{e} pour

le département de la Seine, carte donnant, par courbes de niveau de couleurs variées, les diverses nappes d'eau profondes.

Je commencerai par examiner le cas de sources et suintements naturels, qu'on se propose seulement de capter afin d'en accroître le débit, et nous verrons ensuite comment l'on peut aller chercher en profondeur, par des puits ou sondages, des eaux dont la présence n'est pas soupçonnée à la surface. Ce dernier problème, si souvent d'une importance vitale, n'est pas, comme on le croit trop dans les campagnes, de ceux que l'on résout avec une baguette magique de coudrier ou que l'on traite simplement par la routine; quelques connaissances géologiques, faciles à acquérir, sont, en ce cas, la véritable sorcellerie.

Les sources naturelles appartiennent, suivant leur disposition topographique, à trois types principaux : suintements irréguliers et précaires, souvent susceptibles de sécher en été, dans un terrain meuble ou détritique; sources à flanc de coteau, au-dessus de l'affleurement d'une strate argileuse, ou sur un accident géologique; sources plus profondes des fonds de vallée ou des rivages [1]. Il y a lieu, dans ces trois cas,

1. On a quelquefois essayé de distinguer les *vraies sources* de ce qu'on a appelé les *fausses sources*, par la constance chimique qu'on a attribuée aux premières et qui fait défaut aux secondes (voir notamment, *C. R.*, 11 mai 1896; discussion de MM. Schlœsing et A. Gautier). En réalité, la constance supposée n'existe jamais absolument, même pour les eaux minérales; cependant des courbes, représentant des séries d'analyses, poursuivies pendant un temps prolongé sur une même source et figurant notamment la teneur en acide nitrique, pourront permettre de reconnaître les périodes où le bassin d'alimentation se modifie et d'en chercher les causes ou les conséquences.

d'augmenter le régime de la source et de déterminer géologiquement, pour essayer de les éliminer, les chances de contamination que peut présenter l'eau, en étudiant son bassin d'alimentation superficiel et son parcours souterrain. Remarquons, en effet, que la seule expérience et la seule analyse chimique ou bactériologique ne suffisent pas pour prouver qu'une source donnera toujours de l'eau pure; on a vu, en effet, des cas où la source pouvait, à certains moments, par exemple après de grandes pluies, entrer en communication souterraine avec un lavoir, un cimetière ou tout autre endroit insalubre, d'où une maladie contagieuse, à un jour donné, se répandait en épidémie dans toute une population [1].

Je suppose d'abord les suintements relativement superficiels, tels qu'ils se produisent dans les arènes granitiques, les éboulis, les scories de laves, les graviers, etc.

Le granite, par lui-même, est impénétrable aux eaux, s'il ne contient pas de cassures; mais, quand il se décompose en arène granitique, il se prête, au contraire, à une circulation facile des eaux et donne naissance à de nombreuses petites sources éparpillées, comme on peut le voir dans le Plateau Central, le Morvan, les Vosges, en Irlande, etc. En raison de la dispersion même du phénomène, il est difficile

1. On ne doit pas oublier que l'eau, infiltrée dans le sol, est très loin de se transmettre instantanément à la source, et les matières impures qui peuvent s'y introduire ne se propagent pas non plus sans un délai plus ou moins long; la circulation se fait, en quelque sorte, par tranches successives, qui mettent souvent des mois, parfois des années, à arriver à leur but. Cette lenteur de transmission est favorable à l'épuration par les ferments nitriques.

l'augmenter beaucoup le débit de ces sources par le captage. Pures par elles-mêmes, elles sont souvent en communication facile les unes avec les autres et, dans certains villages malpropres du Puy-de-Dôme ou du Cantal, peuvent répandre ainsi des germes contagieux.

Les éboulis, qui recouvrent les flancs des coteaux, produisent parfois un effet du même genre et peuvent présenter des sources à leur base. Ceux qui occupent le fond des vallées y déterminent souvent l'existence de réservoirs d'eau souterraine, emmagasinés dans le thalweg et particulièrement à la naissance de celui-ci, que l'on peut aller chercher par une tranchée perpendiculaire à ce thalweg. Ces eaux des éboulis sont, on le remarquera, pour la plupart, dans de mauvaises conditions hygiéniques.

Il peut en être encore de même pour les infiltrations qui se produisent à travers les scories des coulées de laves volcaniques et qui alimentent des sources à leur extrémité; celles-ci cependant ont bien des chances de se filtrer à travers les couches de cendres et de lapilli qui accompagnent souvent les laves et, en fait, nombre de belles sources d'Auvergne n'ont pas d'autre origine.

La plupart des sources permanentes à flanc de coteau se produisent à la base d'une strate poreuse ou fissurée, qui a emmagasiné l'eau, au-dessus d'une nappe d'argile, qui l'a empêché de descendre dans le sol.

On peut remarquer que les plus abondantes sont celles à la base des calcaires, où la circulation des eaux est plus aisée que dans des sables. C'est, notamment, à la base de la craie que l'on a capté, pour alimenter Paris, les eaux de la Vanne. De telles sources

peuvent être très bien purifiées, si leur eau a filtré par porosité dans la craie : il y a lieu toutefois de prendre garde aux fissures, qui peuvent amener directement vers la source des eaux contaminées.

Il peut également arriver, plus rarement, qu'une source d'origine profonde se trouve sur un accident géologique, faille ou filon, le long duquel les eaux souterraines sont venues s'accumuler comme devant un mur.

Dans les deux cas, mais spécialement dans le premier, le plus ordinaire (celui d'une strate poreuse), les sources ne sont pas répandues sur toute la longueur de la nappe profonde qui les produit à son affleurement : elles choisissent, pour sortir, des points particulièrement favorables, déterminés par la forme de cette nappe aquifère d'une part, par la forme de la superficie de l'autre. En étudiant ces conditions d'émergence, dans lesquelles il ne faut pas faire la part trop large au hasard, on pourra souvent se rendre compte de la façon dont la source s'alimente et, par suite, augmenter plus aisément son débit [1] par des travaux, en même temps qu'on sera mieux renseigné sur ses chances de contamination, qui dépendent en partie de son périmètre d'alimentation.

Je rappelle, d'abord, que, dans l'épaisseur de la strate perméable, l'eau circulera très différemment, suivant qu'il s'agit d'un sable, où elle se filtre par d'innombrables interstices, ou d'un calcaire, qui

1. Il est à remarquer, au sujet de l'augmentation du débit, que celle-ci peut être seulement provisoire, si le captage a pour effet de vider des réservoirs souterrains, où l'eau s'était entièrement accumulée. Cela dépend encore de l'étendue et du caractère géologique du bassin d'alimentation.

peut lui offrir de larges fissures localisées. De toutes manières, elle viendra, tôt ou tard, se concentrer à la base et former une nappe aquifère, plus ou moins continue, dont nous avons à considérer la forme.

Supposons, en premier lieu, celle-ci absolument horizontale (cas bien exceptionnel), l'eau pourra sortir aussi bien en un point qu'en un autre de ses affleurements et tout au plus le fera-t-elle de préférence dans les dépressions de la surface, produites par les thalwegs.

Mais, en général, cette surface aura une certaine inclinaison, et ce sont alors les points bas de ce plan qui seront les plus riches en sources; si la surface est plissée en forme de synclinal ou de thalweg, les eaux auront tendance à se concentrer dans ce thalweg souterrain, comme dans une rivière au jour et à venir sortir en son extrémité la plus basse; si elle est, au contraire, plissée en anticlinal, les eaux se déverseront sur les deux flancs de la voûte et donneront deux lignes de sources.

Dans le cas ordinaire, où l'eau n'est pas sous pression dans le sol, et ne remonte pas de la profondeur (comme cela se produit pour les sources vauclusiennes, les sources en rapport avec une faille, un filon, un pli brusque des couches, ou, plus spécialement, les sources thermales), on peut admettre que la source est seulement alimentée par les portions de la strate poreuse situées au-dessus d'elle; il faut donc, pour étudier la contamination possible, porter son attention sur les affleurements de cette strate dans cette zone surélevée, ou, quand elle est surmontée de terrains fissurés ou poreux ayant pu concourir à l'alimentation, sur les affleurements de ceux-ci.

Le débit d'une source suintant à l'affleurement d'une strate poreuse peut généralement être accru en perçant, dans cette strate, une courte galerie partant de la source, ou même, en cas de besoin, un système de galeries à angle droit, de manière à recueillir le plus possible des filets d'eau disséminés dans le terrain. Dans un calcaire fissuré, ces galeries devront être dirigées en suivant les fissures principales de la roche[1].

Enfin, des sources abondantes se produisent dans le fond des vallées, au pied des escarpements, ou sur les rivages de la mer, toutes les fois qu'il y affleure des terrains meubles ou fissurés, par lesquels les eaux peuvent remonter de la profondeur au jour. C'est l'application du principe général des pressions hydrostatiques, qui se traduit par le phénomène connu des vases communiquants. L'eau souterraine tend toujours à sortir au point où elle trouve la moindre résistance à vaincre; les dépressions topographiques sont tout particulièrement désignées à cet égard et quand, dans le fond de la dépression même, il existe, comme c'est le cas fréquent, une nappe d'eau douce ou salée, cette nappe d'eau refoule, par sa charge, les filets d'eau souterrains vers les points libres les plus bas, c'est-à-dire vers ses rivages. De là tant de sources au bord de la mer qui ne sont nullement, comme on le croit parfois, des produits d'infiltration des eaux de la mer. Les mêmes conditions d'émergence se présentent pour les sources thermales, qui, ainsi que je le dirai, sont des eaux remontant d'une grande profondeur.

1. Voir des détails sur la captation des sources dans Durand Claye, *Hydraulique agricole*, t. I, p. 304, et dans mon *Traité des sources thermominérales*.

Parmi ces sources des fonds de vallées, il convient de donner une mention spéciale à ces naissances de véritables rivières, qui se produisent au pied des escarpements calcaires, souvent dans des grottes, quelquefois, par un phénomène vauclusien, en remontant de la profondeur, dans les Causses, dans le Jura, en Istrie, Bosnie, Monténégro, etc. C'est là le véritable débouché de rivières souterraines, qu'on peut parfois suivre sur toute l'étendue de leur parcours et dont, ailleurs, on reconnaît l'origine en colorant les eaux par de la fluorescéine. Les explorations de M. Martel ont bien élucidé le régime de ce genre de rivières, qui peuvent parfois subir une filtration accidentelle, mais qui, dans beaucoup de cas, ressortent au jour presque aussi chargées de matières organiques et de microbes qu'à leur entrée, et ce géologue a vivement attiré l'attention sur le danger que présente, dès lors, l'empoisonnement trop fréquent des abîmes, avens et puits naturels, par lesquels ont pénétré ces eaux. Il serait bien à désirer que cette notion si simple se répandît dans le public et qu'une surveillance toute spéciale fût exercée sur ces points de contamination, par lesquels peuvent se répandre tant de maladies infectieuses.

L'existence de nombreuses sources au fond des vallées qui recoupent des plateaux calcaires, sur une strate plus argileuse située à leur base, amène souvent un contraste frappant entre l'aridité du plateau et la fertilité de la vallée. On peut le constater, sous la forme la plus pittoresque, dans les Causses, en Champagne ou dans les vallées de la Syrie, autour de Baalbek et de Damas.

Je passe maintenant au cas où, l'eau n'apparais-

sant pas à la surface, on se propose d'aller la chercher en profondeur. C'est là un problème, qui est résolu couramment par le fonçage des puits à eau, mais au sujet duquel il y a quelques remarques générales à faire, dans l'ordre d'idées géologique, qui nous occupe ici.

Je suppose, d'abord, le cas de terrains sédimentaires, tout au moins à la superficie. Presque toujours, si l'on est situé au fond d'une vallée ou à peu de hauteur à flanc de coteau; souvent aussi, quand on se trouve dans des conditions plus défavorables, sur une colline ou un plateau, il suffit de creuser un puits d'une faible profondeur, 10 à 12 mètres au maximum, pour trouver de l'eau au fond [1]. Cette eau constitue ce que Daubrée a appelé la nappe phréatique (de *phreas*, puits), en la définissant par cette condition qu'elle était atteinte par un puits ordinaire, ne traversant pas de couche imperméable. Dans ces puits, le niveau de l'eau est exposé à varier avec le régime des pluies; mais il présente une certaine moyenne, qui n'est autre que ce que nous avons désigné précédemment du nom de niveau hydrostatique, ou piézométrique.

Nous avons vu, en effet, que le sol, au-dessous d'un certain niveau, était complètement imprégné d'eau. Cette profondeur dépend, d'abord, du relief topographique : la surface hydrostatique en question

1. Pour construire un puits, on creuse d'abord jusqu'à l'eau; puis on établit, sur le fond de la fouille, un bâti en charpente rectangulaire de 15 centimètres de haut, appelé *rouet*, posé sur un massif de pierres sèches pour laisser passage à l'eau. On élève, sur ce rouet, 1 mètre de maçonnerie hydraulique et l'on fait descendre le tout en fouillant soigneusement sous le rouet. Un puits ordinaire coûte 200 à 400 francs.

allant se raccorder avec le fond des vallées, pour s'éloigner de plus en plus de la superficie sous les montagnes et reproduisant en petit les ondulations du sol. Mais, en outre, il est aisé de voir que la forme de la surface hydrostatique est grandement influencée par la constitution géologique du sol.

Si l'on part d'un cas extrême : à l'air libre, la surface de l'eau, contenue dans un lac ou un étang, forme un plan horizontal (ou du moins une surface concentrique à celle de la terre). Dans un terrain à très larges fissures, à circulation très aisée, comme cela arrive dans certains calcaires, la surface hydrostatique aura de même tendance à se rapprocher de ce plan horizontal; elle s'en éloignera, au contraire, de plus en plus et prendra un profil de plus en plus incurvé entre ses points d'infiltration et ses débouchés au jour, à mesure que les orifices, les pores, par lesquels sa circulation doit s'établir, deviendront plus restreints, que l'équilibre théorique mettra plus de temps à s'établir et, par suite, sera plus influencé par le retour périodique des pluies. Le phénomène se compliquera encore dans le cas très ordinaire, où le sol, traversé par les eaux, sera inhomogène et renfermera des parties perméables à côté d'autres imperméables : différences que la géologie pourra nous apprendre à prévoir.

Notamment, c'est un fait très fréquent dans nos terrains sédimentaires que l'alternance d'argiles et de sables, ou de calcaires et craies fissurées. Au-dessus de la strate d'argile 1 (fig. 12), la surface de l'eau XY aura une hauteur variable, avec tendance à la formation de sources aux affleurements 1. Au-dessous, il pourra très bien y avoir une partie entièrement asséchée,

l'imprégnation d'eau ne reprenant que sous une certaine surface ST. Ce cas particulier rentre aisément dans le cas général; mathématiquement, les deux éléments de surface XY, ST ne sont que des tronçons d'une surface unique, définie par les mêmes conditions hydrauliques.

En pratique, il se joint à cette observation première que même un terrain situé au-dessous du niveau hydrostatique et complètement imprégné d'eau en théorie peut être néanmoins impropre à

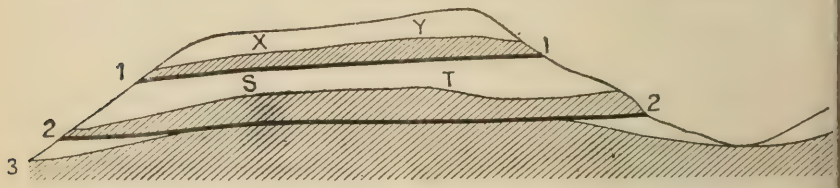


Fig. 12. — Coupe verticale théorique d'un terrain présentant des alternances de couches perméables et de strates d'argile imperméables, 1, 2. — Les parties couvertes de hachures sont celles qu'imprègnent les eaux souterraines; les parties blanches, celles ordinairement asséchées. XY, ST, niveau hydrostatique.

fournir de l'eau dans un puits, s'il s'agit d'une roche cristalline non fissurée, d'une partie compacte dans un calcaire, d'un lit d'argile, et si l'eau est incorporée seulement à l'état d'eau de carrière sans offrir de veines, ou filets libres [1]. Un puits, pour donner de l'eau, doit, non seulement pénétrer au-dessous du niveau hydrostatique, mais encore y rencontrer une strate poreuse (comme des graviers ou des sables non argileux), dans laquelle cette eau a pu s'emmagasiner.

On voit de suite combien cette profondeur des puits à eau peut être variable suivant les cas et com-

1. Je renvoie, pour les détails, aux *Eaux souterraines* de Daubrée, t. I, p. 21.

bien elle dépend directement de la coupe géologique du sol, qui permet d'établir des prévisions à cet égard, surtout quand la surface hydrostatique a été d'abord définie par quelques forages antérieurs. Si, par exemple, la coupe montre, au point considéré, une épaisseur de calcaire de 100 mètres avec couche argileuse à la base, c'est 100 mètres qu'il faudra s'attendre à percer pour avoir de l'eau : d'où l'impossibilité pratique d'avoir des puits sur bien des plateaux calcaires, en Normandie, dans les Causses, etc. ; d'où aussi l'existence, sur certains plateaux, où l'on s'est obstiné jadis à forer des puits pour les besoins d'une forteresse ou d'un château, de ces grands puits monumentaux, profonds comme des puits de mines et sur lesquels il a fallu établir, pour l'extraction de l'eau, les systèmes de charpentes et de treuils les plus savants (Troô, en Loir-et-Cher; le Bosc-Bénard, dans l'Eure, etc.). Ailleurs, l'on aura, immédiatement au-dessous de la surface, des conditions en apparence favorables, c'est-à-dire des sables sur une argile); mais on sera, là encore, au-dessus du niveau hydrostatique; on n'obtiendra donc que des venues d'eau momentanées après les pluies et non une alimentation permanente, etc. Dans ce cas, on pourra s'approfondir d'avantage et descendre, en traversant même parfois un ou deux niveaux d'eau secondaires, jusqu'à la nappe, qui, d'après l'examen géologique, doit être la plus importante.

En général, dans les centres habités, la profondeur à laquelle on trouve l'eau par des puits est bien connue, cette eau formant des nappes qui, sans être continues, comme on l'a trop supposé autrefois, et tout en pouvant enserrer des îlots stériles, se pré-

sentent néanmoins à un niveau assez constant; on peut même ajouter que les grandes agglomérations humaines se sont formées souvent de préférence sur les nappes d'alluvions anciennes, le long de quelque importante vallée, où elles étaient sûres de trouver de l'eau abondamment et à peu de profondeur : ainsi Londres et Paris. A Londres, il y a de 3 à 6 mètres de graviers sur une argile, produisant un niveau d'eau général. A Paris, on comptait jadis 30 000 puits à eau, que l'on a recensés pendant le siège de 1870.

Quand il existe une semblable nappe, on peut prévoir que tous les puits qu'elle alimente communiquent les uns avec les autres, sans que l'intervalle entre eux soit, en général, suffisant pour amener une purification des germes morbides. C'est ainsi que la marche des épidémies, et notamment de la fièvre typhoïde, suit fréquemment le cours de ces sortes de rivières souterraines.

Le captage des eaux constituant cette nappe phréatique se fait couramment par de simples puits, auxquels on ajoute, en cas de besoin, une ou plusieurs galeries partant du bas du puits, dans la couche perméable.

Quand un puits atteint une profondeur telle qu'il devient à peu près impossible d'y puiser de l'eau, on peut avoir intérêt, dans certains cas particuliers, à descendre encore plus loin, pour trouver une *nappe d'eau artésienne*, c'est-à-dire une nappe emmagasinée en profondeur sous une pression telle que, lorsqu'on lui ouvre une issue factice par un sondage, elle remonte aussitôt vers le sol.

Il est facile de comprendre comment peuvent exister de semblables nappes artésiennes (fig. 13).

Soit, en effet, une nappe d'argile imperméable AA′ et, au-dessous, une strate poreuse BB′, qui reçoit de l'eau à ses affleurements, la surface du sol étant B′ A′ D. Cette eau remplit toute la longueur de la strate de B en B′. Le filet élémentaire BB′, compris dans le plan du tableau, se comporte, par suite de la présence du toit imperméable AA′, comme un tuyau incliné et plein d'eau, dans lequel la base B supporte la charge de toute la colonne BA′ : charge représentée par la hauteur BC. Il y aurait, en B, un tuyau vertical que l'eau, en vertu du principe des vases communiquants, devrait y remonter en C à la même hauteur que A′. Si elle ne le fait pas, c'est que le toit d'argile l'en empêche et, généralement alors, elle va chercher un circuit souterrain plus ou moins compliqué, une autre issue. Mais un sondage placé en D produira le même effet que ce tuyau, et l'eau s'y élèvera en jaillissant au-dessus de la surface D.

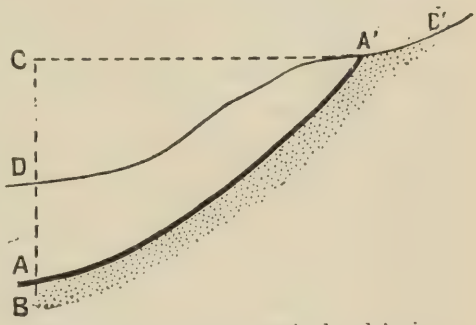


Fig. 13. — Coupe verticale théorique montrant comment une nappe artésienne BB′ peut exister sous une strate imperméable AA′ et comment, si on va la chercher par un sondage DAB, l'eau a tendance à remonter en C.

C'est ce qu'on a réalisé dans les divers puits artésiens de Paris, dans ceux qui ont fertilisé les oasis de l'Oued-Rir, et dans nombre d'autres cas ; c'est ce qu'on peut faire toutes les fois qu'une coupe géologique à grande distance, menée par le point considéré, montrera une disposition analogue à celle de la figure 13 : toutes les fois, par exemple, qu'on sera dans un point

bas de la topographie, entouré par une enceinte de collines, formées de couches alternativement imperméables et compactes, plongeant vers leur centre.

Il est à remarquer qu'une eau artésienne, ayant accompli sous terre un circuit, qui dure parfois plusieurs mois, par des canaux généralement microscopiques, présente, en moyenne, des garanties de pureté, qui ne sont dépassées que par les sources thermales proprement dites.

Dans tout ce qui précède, j'ai supposé que l'on était dans les terrains sédimentaires. En de pareils terrains, le cas le plus défavorable pour trouver de l'eau est (en laissant de côté, bien entendu, celui des régions désertiques à précipitations pluvieuses insuffisantes), le cas d'un plateau calcaire ou sableux de très grande épaisseur, à travers lequel les eaux se perdent sans former de nappes utilisables. Quand, au contraire, l'argile vient si près du sol qu'elle arrête l'infiltration des eaux, on n'en a pas moins des chances de rencontrer, au-dessous, plus ou moins bas, des sables imprégnés d'une eau, qui ne subit pas nécessairement l'influence des eaux croupissantes au-dessus de l'argile, l'alimentation de ces sables pouvant être d'origine très lointaine.

En dehors des miasmes organiques, qu'une eau de puits peut contenir par une influence superficielle quelconque, et des nitrates qui en résultent, il faut également tenir compte des sels minéraux que la nappe d'eau a pu dissoudre sur son trajet. Ces sels sont réduits à leur minimum au milieu d'un sable siliceux; mais il est bien rare que l'eau, chargée à la surface d'oxygène et d'acide carbonique, n'ait pas trouvé à dissoudre un peu de chaux et de fer, sous

forme de carbonates. La teneur en chaux, qui rend les eaux lourdes, n'a pas grand inconvénient, quand elle ne dépasse pas certaines limites; le défaut devient beaucoup plus grave, quand l'eau trouve des terrains renfermant des dépôts solubles de sel marin, ou de gypse, comme il y en a dans le tertiaire des environs de Paris, dans le trias de la Lorraine ou du Plateau Central, etc.; il en résulte, en effet, des eaux salées ou séléniteuses, et, dans certaines régions à formations salines abondantes, comme les déserts du Chili, du Turkestan, du Sahara, etc., les eaux obtenues par les puits ou les sondages peuvent arriver à être chargées de sels au point de devenir imbuvables, si l'on ne les soumet, au préalable, à une distillation. L'étude géologique du pays fera prévoir l'existence de ces dépôts de gypse et de sel sur le passage des eaux et pourra alors conduire à chercher un autre moyen d'alimentation, en forant à partir d'un autre point ou vers un autre niveau.

Dans les roches cristallines, que j'ai laissées de côté jusqu'ici, le problème des puits se pose différemment.

Quand ces roches sont décomposées à la surface et donnent des arènes granitiques, on a déjà vu qu'on pouvait y trouver des sources abondantes et presque toujours bien purifiées par ce filtre naturel. Si la roche est inaltérée, on ne peut compter, pour trouver de l'eau, que sur ses fissures : soit ces cassures restreintes et souvent ouvertes, qu'on appelle des diaclases; soit les cassures profondes et plus anciennes, qui constituent des filons.

Les diaclases d'un granite ou d'un gneiss donnent souvent des venues d'eau abondantes, comme on peut le constater dans divers travaux de mines et comme

on l'a observé également par des sondages faits dans des îlots norvégiens, ou par de simples puits en de nombreux villages du Plateau Central. Mais, si l'on a affaire à une roche déjà très fissurée à la surface, il est difficile de compter sur la rencontre dans un puits de semblables cassures, qui ne peuvent guère être trouvées que par hasard.

On est un peu plus sûr du résultat quand un grand massif rocheux est traversé par un filon compact, de quartz par exemple. Ces filons jouent souvent, pour les eaux souterraines, le rôle de plans directeurs, comme on peut aisément s'en assurer en voyant combien la roche est profondément décomposée, kaolinisée par les eaux le long de leur affleurement.

Une galerie de mine en travers-bancs, menée de la surface vers un de ces filons, perpendiculairement à sa direction, aura donc bien des chances de rencontrer une venue d'eau en atteignant ce filon. C'est un procédé de recherche qui est très employé pour le captage des eaux thermales, mais que l'on emploie également parfois pour les eaux naturelles, par exemple dans les Cévennes.

2° **Irrigation**. — Le problème de recueillir les eaux superficielles se présente dans des conditions d'amplitude et souvent d'importance spéciales, quand il s'agit d'en obtenir les grandes quantités nécessaires à l'irrigation.

On sait que l'irrigation agit sur le développement végétal de diverses manières : elle fournit aux plantes la fraîcheur et l'humidité nécessaires à leur développement; elle subvient aux besoins de la transpiration et de la circulation de la sève; enfin elle sert de véhicule aux matières minérales, qui, pour a plupart, ne

sont assimilables qu'à l'état de solution et, par la dissociation même de l'eau, elle donne de l'hydrogène et de l'oxygène libres.

Par ses sels minéraux, l'eau équivaut à une proportion de fumier qu'il est aisé de calculer : 1000 kilogr. de fumier contenant 4 à 5 kilogr. d'azote, 2 à 7 d'acide phosphorique, 5 à 6 de chaux, 3 à 4 de potasse, 1 de soude. Pour avoir autant d'azote, il faut, par exemple : 20 000 m^3 d'eau de Seine, ou 100 m^3 d'eau d'égout de Paris; pour la chaux, 59 m^3 de la première, 14 de la seconde; pour les alcalis, 637 de la première, 42 de la seconde.

L'avantage des irrigations pour la culture dépend essentiellement de la nature géologique du sol. Les terrains argileux imperméables, tels que les argiles du lias en Nivernais, celles du crétacé inférieur dans le pays de Bray et la vallée d'Auge, ou l'argile plastique de la Brie, sont, par eux-mêmes, des terrains à prairies, où la pluie suffit à entretenir l'humidité et où l'irrigation n'est pas nécessaire; elle est, au contraire, indispensable sur les terrains perméables, pour la culture des légumes et les prairies.

En moyenne, on estime que l'irrigation procure un accroissement de revenu net d'au moins 200 francs par hectare.

L'irrigation comporte, d'abord, l'obtention de l'eau par dérivation d'un cours d'eau, barrage d'une vallée, simple source, puits artésien, etc., puis sa distribution dans les champs. Pour ces deux problèmes, je n'ai qu'à renvoyer à ce que j'ai dit sur la captation des eaux et, précédemment, sur le creusement des tranchées.

L'opération peut quelquefois se combiner avec le

colmatage, c'est-à-dire le dépôt des matières en suspension, qui troublent l'eau, dans une dépression, qu'on élève ainsi progressivement et qu'on transforme en un excellent terrain de culture.

C'est un moyen pour dessécher des marais ou fertiliser des plaines de graviers[1]. Le résultat obtenu dépend nécessairement de la nature des sédiments apportés par le fleuve, nature qui est elle-même fonction de celle des terrains géologiques traversés par son cours.

3° **Drainage des eaux. Desséchement. Assainissement des régions tourbeuses et marécageuses.** — L'eau, qui, répandue en justes proportions et au moment opportun sur un terrain, est, pour lui, le premier élément de fertilité, peut, au contraire, le rendre stérile, si elle s'y accumule, si elle y croupit. La fermentation de toutes les matières organiques l'acidifie; l'aération y est rendue impossible par l'engorgement de tous les pores; l'herbe même y pourrit et il n'y pousse plus que des mousses ou des joncs. Ce défaut se produit surtout quand un terrain à fond d'argile se présente à peu près horizontal, avec de faibles ondulations; il peut exister encore sur certains plateaux de sable, où l'infiltration des eaux, chargées de fer à la surface, et leur évaporation à une profondeur à peu près constante produisent une couche imperméable d'alios ou de mâchefer, qui amène ensuite la formation d'étangs ou de marais, comme jadis ceux de la Sologne, des Landes, des Dombes, etc. ; il se présente enfin dans la plupart des régions granitiques, où tend à se développer, par

1. Un procédé analogue, appliqué sur les côtes, permet de conquérir les terrains des *polders*.

suite de la compacité du sous-sol au-dessous d'une mince couche d'arène, une végétation tourbeuse. C'est ainsi que l'on peut voir, dans la zone septentrionale du globe, des régions entières, comme celles de la Laponie, de la Finlande, de la Sibérie, qui ne sont qu'un vaste marais tourbeux, où poussent des arbres rabougris sur un sol encombré de mousses et de lichens.

Quand on constate un tel état de choses, on peut essayer d'y remédier par un drainage ou un desséchement, en rassemblant les eaux disséminées dans des rigoles à ciel ouvert, des tranchées, des conduites de drainage, etc., qui, si elles sont suffisamment profondes, assèchent les terrains avoisinants.

Le *drainage* est, presque toujours, utile pour les terrains imperméables, sauf dans la plupart des cas où ils sont utilisés en prairies, à moins que celles-ci ne soient marécageuses. Le desséchement des marais s'impose, tant pour la salubrité publique que pour leur utilisation agricole.

Le principe de l'opération est bien simple ; il est uniquement fondé sur ce fait, déjà rappelé à diverses reprises précédemment, que l'eau choisit toujours, entre deux issues ouvertes devant elle, celle qui lui offre le moyen le plus facile et le plus prompt de s'échapper et d'arriver au jour ou de descendre vers la vallée, celle où elle a la moindre pression à combattre. Une saignée, ouverte dans un terrain, constitue une de ces lignes de moindre pression, ramenées à la pression atmosphérique, vers lesquelles la goutte d'eau d'un terrain voisin, soumise à la charge de toute l'eau qui s'est accumulée au-dessus d'elle, se précipite aussitôt. Ce drainage, n'agissant pas sur l'eau

retenue par la capillarité, laisse à la terre les 10 à 20 0/0 d'eau qui sont nécessaires pour y entretenir l'humidité.

On peut, d'ailleurs, faire ces rigoles d'asséchement à ciel ouvert, ou souterraines (ce qui constitue le drainage proprement dit [1]), et, dans ce dernier cas, les remplir de pierres, qui laissent entre elles des interstices, ou y mettre des lignes de tuyaux avec des ouvertures à chaque joint; le principe reste le même et l'effet, plus ou moins complet, est du même ordre.

Les rigoles à ciel ouvert sont faciles à établir, quand on dispose d'une pente pour l'écoulement des eaux, comme c'est ordinairement le cas pour les prés tourbeux et marécageux des vallons granitiques. Une série de saignées, faites à peu près suivant les lignes de niveau, avec une légère pente et amenant à une rigole d'évacuation générale, suffisent alors à assainir le pré, dont on complétera l'amélioration par le chaulage.

Pour établir un drain, on creuse d'abord une tranchée de 0 m. 90 à 1 m. 50 de profondeur, avec 0 m. 50 à 0 m. 60 de largeur au sommet, 0 m. 06 à 0 m. 07 à la base et, si le sol est ébouleux, on blinde la fouille; puis on place les tuyaux de terre cuite, sans les joindre, de manière à permettre l'introduction de l'eau dans l'intervalle et l'on recouvre de pierres.

Quelquefois la géologie permet d'établir un drainage naturel, quand, à moins de 1 m. 50 de la superficie, se trouve, sous un sol argileux, une couche perméable. Il suffit alors d'établir la communication avec celle-ci par quelques drains, et l'on se débarrasse aisément des

1. Une loi du 10 juin 1854 assure aux conduites de drainage le bénéfice du droit de passage sur les propriétés voisines.

eaux. On l'a fait dans la vallée de l'Eure, où l'argile à silex repose sur la craie.

Le *desséchement des régions marécageuses* représente, en plus grand, une application des mêmes principes. Il peut s'opérer, soit par simples rigoles d'assainissement, soit par creusement d'un canal ou d'une galerie d'écoulement, soit par adduction des eaux jusqu'à un orifice naturel, comme les abîmes, ou katavothres de Grèce, soit enfin par élévation mécanique.

La difficulté du premier mode opératoire, qui est le plus ordinaire, tient surtout à ce que les marais se trouvent souvent sur de grandes plaines, ou plateaux sans écoulement et à très faible ondulation ; il faut alors déterminer la direction à donner aux rigoles par un nivellement très soigné. Les galeries souterraines, qui ont été employées au lac Fucino et au lac Copaïs, constituent de grands travaux coûteux. Au contraire, l'utilisation des issues naturelles, que la géologie peut apprendre à découvrir, offre une solution élégante, à laquelle on ne songe presque jamais assez. On devrait toujours commencer par s'assurer qu'il n'existe pas, sous la couche imperméable retenant les eaux, une autre couche, où celles-ci pourraient être amenées à se perdre, soit par les pores du terrain, soit par les fissures.

Ainsi, dans le plateau central de la Morée, on observe un certain nombre de grandes dépressions marécageuses, telles que le lac Phonia, le lac Stymphale, le marais de Taka, etc. A la suite des explorations de M. Martel en 1891, on a, près de l'une d'elles, celle de Taka, désobstrué à très peu de frais un des katavothres, ou abîmes naturels creusés dans le calcaire, qui

pouvait former l'écoulement naturel des eaux, et sensiblement amélioré ainsi la salubrité du pays. De toutes manières, cet écoulement de l'eau par les abîmes, ou tout au moins les fissures du calcaire, est un phénomène à retenir, en raison de sa grande fréquence, pour protéger ces abîmes et fissures, souvent très étroits, contre l'engorgement que peuvent y produire les matières entraînées par les eaux.

4° **L'évacuation des eaux contaminées** est un problème du même genre, qui se pose en grand autour de toutes les villes et qui existe aussi pour la plupart des usines. La solution à adopter est différente, suivant que les matières à éliminer sont simplement des particules en suspension, ou, quand elles sont en dissolution, suivant que ce sont des matières organiques, ou, au contraire, des produits chimiques, acide sulfurique, chlorhydrique, etc.

Avec les matières simplement en suspension, le remède est simple. Il consiste à avoir des bassins de décantation, où on laisse séjourner les eaux et où l'on peut accélérer leur précipitation par l'addition de diverses substances, chaux, matières gommeuses, etc[1]. La chaux précipite, en même temps, une partie du fer, qui peut se trouver dissous sous forme de sels protoxydés. Même dans le cas d'une rivière et non plus d'une eau stagnante, l'expérience montre que la précipitation naturelle des matières en suspension se fait avec rapidité.

L'élimination des matières dissoutes est plus difficile.

1. M. Thoulet (*C. R.*, 11 juin 1900) vient de faire remarquer combien les corps poreux fixent aisément l'argile en suspension dans l'eau.

Prenons, d'abord, le cas des matières organiques azotées, qui sont les plus nuisibles pour l'hygiène publique. Je renvoie, à ce sujet, à ce que j'ai dit plus haut sur la nitrification. Comme on l'a vu, la nature, dans ce cas comme dans tant d'autres, a souvent placé, à côté du poison, le remède; elle accomplit, pour la conservation des êtres vivants, cette grande opération de voirie et d'épuration naturelle, qui est, à la surface du sol, confiée aux vautours, corbeaux, insectes mangeurs d'excréments, ferments des cadavres, etc., et qui, dans les eaux, est exécutée par ces infiniment petits, appelés les ferments nitriques. Il suffit à l'homme de seconder l'action de ceux-ci en les plaçant dans les conditions où ils donnent leur maximum d'effet, c'est-à-dire en faisant traverser aux eaux impures une couche filtrante bien aérée et d'une épaisseur convevenable (2 mètres au minimum, et 4 mètres au maximum).

C'est le problème qui se pose pour les eaux d'égout des grandes villes, où l'on retrouve la plus forte proportion de l'azote introduit avec les matières alimentaires (le reste passant dans les ordures ménagères, gadoues et vidanges) et qui, on le sait, a pris à Paris une importance spéciale, en raison de la solution adoptée du « tout à l'égout ».

A Paris, depuis plus de vingt ans, l'épuration des eaux d'égout se fait par le filtrage dans les sables de la plaine de Gennevilliers, à laquelle on a ajouté ultérieurement celle d'Achères.

Le sol est divisé en billons séparés par des rigoles, les billons étant réservés pour des plantes dont les

1. Voir, dans Durand Claye, *Hydraulique agricole*, le chapitre relatif à l'assainissement municipal.

racines seules profitent des éléments fertilisants et, spécialement, pour la culture potagère. Au moyen de drainages, on maintient la nappe souterraine à 3 mètres du sol, en lui assurant une épaisseur de 2 mètres au minimum.

Dans des cas beaucoup plus restreints, toutes les fois que des eaux, souillées par des matières organiques, sont évacuées par absorption dans un terrain poreux ou fissuré, comme cela se produit souvent (au moins en partie) pour les fosses de vidanges des habitations de campagne, les fosses à purin des fermes, etc., par exemple sur les plateaux calcaires, il faut bien se rappeler les remarques faites plus haut [1] sur le mode de circulation des eaux dans ces terrains (calcaires, craies, sables, etc.); on doit, par suite, prendre garde d'empoisonner tout un terrain, à la base duquel il n'est pas rare qu'on aille chercher, en même temps, tout près de là, la nappe d'eau potable qui alimente les puits. Souvent l'établissement de fosses absolument étanches, vidées artificiellement, s'imposera alors pour une raison de salubrité. Quelquefois, au contraire, comme à Gennevilliers, le terrain pourra produire l'épuration, si la circulation des eaux y a lieu, non par des fissures, mais par de simples pores.

Enfin, quand les eaux, contaminées par une usine ou fabrique de produits chimiques, renferment des acides ou sels minéraux en dissolution, par exemple de l'acide sulfurique, on ne peut espérer les en débarrasser en les filtrant à travers un terrain inerte; on essaye alors quelquefois de les faire disparaître dans

1. Page 149.

un *puits absorbant*, ou *boit-tout*, creusé jusqu'à une couche perméable épaisse, comme une craie fissurée, Un calcaire a l'avantage de pouvoir neutraliser les acides. Parfois aussi, comme cela se pratique en grand près de la mine de pyrite de Sain-Bel (Rhône), on neutralise, dans des bassins artificiels, les eaux chargées d'acide sulfurique au moyen d'un lait de chaux et l'on obtient ainsi du sulfate de chaux ou plâtre ferreux à 8 ou 10 0/0 de fer, qui peut être vendu, soit comme amendement, soit comme produit épurant dans les usines à gaz.

Si une réaction chimique de ce genre ne se produit pas naturellement ou artificiellement, il faut bien se rendre compte que les acides de l'eau arrivent forcément, tôt ou tard, aux rivières, où l'on a seulement des chances pour qu'ils soient masqués par de grandes quantités d'eau.

CHAPITRE VII

Application de la géologie à la recherche et au captage des sources thermo-minérales.

La recherche et le captage des sources thermales, auxquels j'ai consacré ailleurs un ouvrage entier[1], sont encore un de ces problèmes, trop souvent résolus par l'empirisme seul, pour lesquels une étude géologique un peu rationnelle peut permettre d'obtenir de très sérieux progrès. Je n'en rappellerai ici que les données tout à fait fondamentales.

Contrairement à ce que nous avons vu pour les sources ordinaires, en relation généralement très directe avec la superposition normale des terrains sédimentaires plus ou moins perméables, une source thermale apparaît, presque toujours, brusquement, en un point où la perméabilité des couches ne présente rien de spécial, mais où l'observation géologique fait reconnaître l'existence d'une fracture verticale profonde : faille, filon, ou simple pli très accentué. C'est de l'eau, provenant d'infiltrations de pluies ou de neiges fondues à de grandes distances, qui, introduite d'abord à plusieurs centaines de mètres de pro-

1. 1899, 1 vol. in-8, chez Baudry et Cie.

fondeur sous pression, et échauffée, en conséquence de cette profondeur, par la chaleur intérieure de la terre, remonte à la surface, rapidement, abondamment, comme à l'improviste.

Le premier point, quand on veut augmenter le débit d'une source thermale naturelle, ou quand, dans une région à sources de ce genre, on veut en créer une nouvelle par un sondage, est donc de bien déterminer le régime géologique des eaux souterraines et la disposition de ces fractures du sol, qui servent d'issue à l'eau. Connaissant la position de la fissure ou de la nappe aquifère en profondeur, on peut, si on le veut, aller la recouper par un travail de forage, puits, sondage, galerie, etc. ; on peut également prévoir de quel côté l'eau thermale doit avoir une tendance à s'échapper et porter obstacle à ces fuites possibles en obstruant de pareilles issues (même sans en connaître l'emplacement exact) par divers artifices, bétons, nappes d'eau, etc.

Le principe qui domine toutes ces questions de sources thermales est celui que j'ai déjà rappelé à l'occasion des sources naturelles et qui correspond à la loi physique peut-être la plus générale — avec celle de la tendance à l'équilibre, dont elle n'est qu'une expression —, c'est la loi du minimum d'effort. En vertu de cette loi, l'eau tend toujours à s'échapper au point de moindre pression qui lui est accessible, c'est-à-dire, pratiquement, au point le plus bas situé à l'air libre, où elle n'ait à supporter que la pression atmosphérique.

Il est facile d'en apercevoir aussitôt quelques conséquences.

La première est qu'une source thermale se trouve

ordinairement à l'intersection de la fracture profonde, par laquelle remonte l'eau, avec une ligne de dépression topographique, telle qu'un fond de vallée, la berge d'une rivière, le pied d'un escarpement, le bord de la mer. Ceux qui fréquentent les villes d'eau regrettent souvent de les trouver dans un fond encaissé, où l'horizon manque, où l'air est plus lourd, où l'espace fait défaut; ils ne se doutent pas, pour la plupart, que c'est la simple conséquence d'une nécessité physique et que la source est précisément au point où on l'observe, parce qu'il est déprimé.

Par la même raison, si l'on veut détourner une source thermale de son orifice ou griffon naturel, il suffit de l'atteindre en un point plus bas que celui-ci, soit par une galerie en travers-bancs partant à flanc de coteau, soit par un puits, au fond duquel on supprime la charge de la colonne d'eau, en maintenant le niveau bas par des pompes.

Quand on abaisse ainsi le niveau de captage d'une source thermale, qu'on diminue sa charge, on accroît la vitesse de tous les filets d'eau, qui viennent aboutir à cet orifice, en diminuant leurs frottements et, par suite, on augmente très rapidement leur débit : phénomène qu'il ne faut pas confondre avec l'accroissement de débit, qu'on obtient, d'autre part, par le même travail, en attirant vers la source toutes les eaux thermales ou naturelles, qui, auparavant, pouvaient s'éparpiller à l'entour dans les terrains. Ce débit s'accroît encore davantage, si l'on agit plus énergiquement pour diminuer la charge, en appliquant une pompe d'épuisement sur l'émergence.

Ces remarques faites, les eaux thermales se présentent sous deux formes principales : 1°, filons aqui-

fères proprement dits, remontant parfois de 1000 ou 2000 mètres de profondeur dans une large fissure verticale, généralement une faille ou un filon, avec épanchements latéraux possibles de ces eaux filoniennes dans les fissures, ou diaclases, superficielles des roches, au milieu desquelles elles peuvent s'éparpiller en formant autant de sources adventives; 2° épanchements des eaux en profondeur dans des strates poreuses de sables, intercalées au milieu des terrains, où se constituent de vraies nappes artésiennes hydrothermales, que l'on atteint, le plus souvent, par des sondages. Le premier cas est celui de la plupart des sources chaudes utilisées en bains; le second cas, celui de beaucoup des eaux minéralisées, qu'on embouteille afin de les employer pour la boisson.

L'étude géologique fera assez aisément reconnaître dans lequel de ces deux cas l'on se trouve, et le mode de captage à adopter en résultera nécessairement.

Je rappelle, par exemple, ce qui a été dit plus haut[1] sur la manière de constater l'existence d'une faille. On sait que c'est un plan de fracture incliné, suivant lequel s'est produit un glissement, une dénivellation relative de la partie supérieure, qu'on appelle le toit, par rapport à la partie inférieure qu'on appelle le mur. Mais il ne faut pas s'imaginer, comme on le fait parfois, que cette dénivellation se voie à la surface et y soit marquée par un accident topographique. Cela n'arrive que dans des cas exceptionnels. Le plus généralement, ce que l'on constate, c'est le contact anormal, suivant une ligne à peu près droite, de deux terrains, qui, d'après leur âge relatif, devraient être super-

1. Pages 39 et 93 (fig. 9).

posés l'un à l'autre et qui se trouvent, au contraire, juxtaposés au même niveau. Sur chacun des côtés de la faille, les terrains obéissent à l'ordre de succession stratigraphique, qu'on peut y vérifier; mais, quand on traverse la faille, on passe d'un de ces terrains à l'autre sans aucune raison.

Quant aux filons, dont nous aurons à reparler dans un chapitre spécial [1], chacun sait qu'ils sont constitués par une veine souvent fort étroite d'une roche ou d'un minerai, tranchant au milieu des terrains encaissants, dont elle se distingue, presque toujours, par sa couleur ou par son aspect.

Les nappes interstratifiées se présentent, elles, comme les nappes d'eau naturelles, qu'on observe dans le percement d'un puits, avec cette différence toutefois qu'elles donnent généralement lieu à des eaux artésiennes, c'est-à-dire remontant naturellement et sans pompage jusqu'à la surface, ou du moins s'en rapprochant. Quand, au lieu d'une source unique, on a un groupe de sources, la disposition de celui-ci dépend également de celui des deux cas précédents, dans lequel on se trouve.

Un groupe, provenant d'un filon, se composera de sources situées sur une série de petites fissures verticales d'une roche compacte, par exemple dans un granite, un porphyre, un grès; ou bien, on aura affaire à deux ou plusieurs issues de la même venue profonde, disposées sur la même fracture rectiligne, en divers points bas de la topographie. Au contraire, les eaux provenant d'une nappe interstratifiée seront obtenues par des sondages placés tout à fait au hasard,

1. Chapitre VIII, p. 206 et 218.

ou suivant des convenances locales, dans une plaine ou une vallée et allant chercher l'eau à des profondeurs, qui, reportées sur des coupes transversales, accuseront l'existence, ou d'une ou de plusieurs nappes continues.

Pour ce genre de sources interstratifiées, chaque sondage nouveau tend à diminuer le débit des sondages antérieurs, particulièment si, comme c'est le cas ordinaire pour les eaux captées de cette façon, on a affaire à des eaux chargées d'acide carbonique, qu'entraîne à la surface la pression interne de ce gaz; il est, en effet, bien simple de comprendre que de trop nombreux évents, permettant au mélange d'eau et de gaz d'arriver à la surface, diminuent la pression de ce dernier.

Capter une source thermale, c'est, par définition, employer les dispositifs propres à lui assurer le maximum de débit, de température et de minéralisation compatible avec des circonstances déterminées.

Ce captage, au sujet duquel il règne de très nombreux préjugés, s'exécute, à bien des égards, comme l'exploitation d'un filon ou d'une couche métallifère, avec cette difficulté spéciale qu'il faut travailler dans l'eau chaude et souvent les gaz délétères et, d'autre part, cet avantage que l'eau est un minerai fluide, susceptible de venir au devant de l'exploitant, sans qu'il ait besoin d'aller le chercher sous terre, s'il sait l'attirer à lui par une diminution de pression.

Les conditions à remplir pour un bon captage sont de deux genres distincts :

1° Empêcher l'eau thermale et les gaz de se perdre, autrement dit en recueillir la plus grande quantité possible.

2° Eviter les infiltrations d'eaux superficielles, l'action refroidissante et oxydante de l'air, ou toute autre circonstance de nature à altérer le produit qu'on veut recueillir : en un mot, isoler la source.

Je n'ai pas à entrer ici dans des détails opératoires, qui nous entraîneraient trop loin. En principe, il faut d'abord, on le conçoit, essayer de comprendre le régime des eaux souterraines chaudes et froides pour attirer les premières et éviter les secondes : ce qui nécessite une étude géologique et topographique de la surface, et parfois des sondages.

Si, comme aux environs de Vichy ou à Vals, l'on a affaire à une nappe interstratifiée en profondeur, ce qui est le cas le plus simple, on ira la chercher par un puits ou par un sondage, dont, en pratique, l'expérience acquise par des sondages antérieurs dans le même bassin fera prévoir à peu près la profondeur.

Si l'eau thermale, au contraire, vient du fond par une fracture plus ou moins bifurquée et éparpillée au voisinage de la superficie, on devra distinguer suivant que l'accès de cette fracture, au-dessous des terrains meubles de la surface, sera possible par un travail plus ou moins profond, ou, suivant, au contraire, que cet accès sera impossible à cause de la trop grande épaisseur de ces terrains, ou parfois à cause de l'existence d'une nappe d'eau froide au-dessus.

Dans le premier cas, on atteindra la source par une excavation quelconque, fosse, puits, etc., au fond de laquelle on rassemblera les filets d'eau dans une enceinte étanche. Ou bien, l'on ira la chercher par des galeries de mines, tout à fait semblables à des galeries d'exploitation de minerai et, comme celles-ci, disposées,

les unes en travers-bancs pour aller recouper le filon, les autres en direction dans l'intérieur de ce filon, pour le dépiler. Au contraire, si l'on ne peut arriver au griffon proprement dit de la source, il faudra l'amener à sortir au point que l'on désire en la refoulant sur toutes les autres issues, par lesquelles elle pourrait être tentée de s'échapper, au moyen d'un surcroît de pression, soit une couverture de béton, soit la simple pression hydrostatique d'une nappe d'eau.

Ce dernier système est fondé sur ce fait curieux qu'on peut, dans une conduite analogue à celle que figurent les circuits souterrains, charger l'eau thermale et minéralisée par de l'eau froide superposée à elle, sans qu'il se fasse de mélange appréciable entre les deux. On a, dès lors, pu localiser le griffon d'une source thermale en un point précis, en disposant sur ce point une colonne étanche, dans l'intérieur de laquelle la source pouvait s'élever librement, tandis que, tout autour de la colonne, on amenait, sur des terrains meubles, alluvions, éboulis, etc., à travers lesquels l'eau thermale aurait pu se perdre, la nappe d'eau d'un étang ou d'une rivière, maintenue par des barrages à un niveau approprié et déterminé avec soin.

CHAPITRE VIII

Application de la géologie à la recherche des minerais, combustibles, ou autres substances minérales utiles et à l'appréciation de la valeur industrielle des gisements.

A. — Notions de minéralogie pratique.
B. — Évaluation d'un gisement. — Grandes catégories de gîtes minéraux et métallifères. Leur origine.
C. — Moyens de cubage préalable. — Recherche du prolongement d'un gîte connu. Examen géologique. Etude au magnétomètre. — Travaux d'exploration. Galeries, descenderies, puits et sondages. — Prises d'essai.
D. — Variations à attendre en profondeur.
E. — Premières formalités administratives pour une recherche de mine.
F. — Étude des principales substances minérales utiles. Mode de gisement. Qualités et défauts à apprécier. — Matières premières des briques, faïences, ciments, verres, etc. — Pierres de taille. — Pierres lithographiques. — Marbres. — Pierres à plâtre. — Ardoises. — Phosphates. — Asphaltes et bitumes. — Sels gemmes. — Combustibles minéraux. — Métaux divers : fer, manganèse, étain, antimoine, cuivre, plomb, zinc, mercure, argent, or, etc.

Ici, plus encore que dans les autres parties de cet ouvrage, nous devrons nous borner à quelques notions élémentaires sur un sujet des plus vastes, qui embrasse à lui seul la minéralogie, l'étude des gîtes minéraux,

celle des gîtes métallifères[1] et une partie de l'exploitation des mines.

A. **Notions de minéralogie pratique**. — Je crois utile de commencer par quelques très simples notions sur la reconnaissance des minéraux les plus fréquents, indépendamment des connaissances cristallographiques, qui sont indispensables pour une détermination précise, et de l'analyse chimique nécessaire dans certains cas; cette reconnaissance peut se faire, presque toujours, d'après un certain nombre de propriétés physiques très simples, très apparentes, telles que l'éclat, la couleur, la densité, la dureté, la friabilité, en tenant compte du gisement où le minerai a été trouvé et s'aidant au besoin d'un petit essai chimique élémentaire[2].

Il faut bien, en effet, partir d'abord de cette idée que, sur les 4 000 noms de minéraux qui figurent dans tout traité de minéralogie et dont la seule liste risque d'épouvanter celui qui la voit, il y en a tout au plus 400 que même un géologue professionnel ait besoin de bien connaître, et peut-être 60, entre lesquels on aura à hésiter dans la presque totalité des cas.

Ces minéraux tout à fait usuels peuvent aussitôt, d'après leur gisement, ou d'après leur aspect général (qui correspond pour la plupart à leur mode de gise-

1. Comme traité de minéralogie, on peut consulter celui de Lapparent (Savy, 1884). Voir aussi Jagnaux, *Minéralogie appliquée*, chez Doin. — Pour les gîtes minéraux et métallifères, à l'exception des combustibles : Fuchs et De Launay, 2 vol. chez Baudry, 1893; De Launay, *Formation des gîtes métallifères*, chez Gautier-Villars. — Pour l'exploitation des mines, le cours de M. Haton de la Goupillière, 2 vol. chez Dunod.

2. Pour reconnaître un minerai, on commence toujours par le casser d'un coup de marteau, pour voir la cassure fraîche et également la couleur de sa poussière.

ment), se répartir sans hésitation entre quelques groupes principaux : 1° minéraux des terrains sédimentaires, généralement pierreux et de couleurs claires; 2° minéraux des roches cristallines, formant des agrégats cristallins; 3° minéraux des filons, comprenant tous les minerais proprement dits, caractérisés, pour la plupart, par leur éclat métallique et leur poids.

1° Les **terrains sédimentaires** sont formés de minéraux ou de roches ayant l'aspect de pierres ou de terres, avec des couleurs variant du blanc au jaune, au brun ou au rouge, sans éclat métallique, sans cassure brillante et, presque toujours, sans cristallisation. Ce groupe comprendra, comme éléments essentiels et presque constants, les formes diverses de carbonate de chaux, qui constituent les calcaires, pierres de construction, pierres à chaux, à ciment, marbres, pierres lithographiques, craies, etc.; les carbonates de chaux et de magnésie, c'est-à-dire les dolomies; puis la silice, à l'état de silex, meulière, quartz, sable siliceux, grès, quartzite, etc.; l'argile, avec sa variété blanche, le kaolin et ses variétés impures : terre à briques, argile à poteries, etc.; les schistes, les ardoises, les combustibles minéraux, anthracite, houille et lignite, aussitôt reconnaissables à leur couleur noire; enfin, accessoirement, quelques minéraux utiles ou minerais (plâtre, phosphate, minerais de fer ou de manganèse), sur lesquels j'aurai à insister dans un instant.

Aucun des premiers minéraux qui composent la masse des sédiments ne demande une bien longue description. J'ai déjà, au chapitre II, signalé ceux qui forment de véritables roches, comme les cal-

caires, les grès, les argiles, les schistes, etc. Je rappelle seulement que les calcaires, ou, plus généralement, les carbonates se reconnaissent aisément en versant sur eux un peu d'acide chlorhydrique étendu d'eau, qui produit une attaque avec bouillonnement d'acide carbonique. Je vais, de plus, ajouter quelques mots sur certains d'entre eux et, tout d'abord, sur les formes cristallisées du carbonate de chaux et de la silice (calcite et quartz), que nous retrouverons également tout à l'heure parmi les minéraux des filons.

La *calcite* (ou carbonate de chaux cristallisé) est un minéral blanc laiteux, souvent translucide ou transparent, cristallisant avec les formes les plus diverses, rhomboèdres, baguettes prismatiques, aiguilles, etc., que l'on distingue très aisément du quartz, parce qu'il se raye au canif et qu'en outre il est attaqué par l'acide chlorhydrique, comme le calcaire. On en trouve souvent aussi dans les gîtes métallifères. Une variété pure forme le spath d'Islande, à travers lequel l'image d'un objet se dédouble en deux images.

La calcite ne peut guère être confondue qu'avec le quartz et le gypse, autres substances blanches; elle en diffère beaucoup par sa dureté : le gypse se raye à l'ongle, la calcite à l'acier seulement, et le quartz n'est pas rayé par l'acier.

Le *quartz* est de la silice, souvent cristallisée en prismes terminés par une pyramide à six faces; on connaît ses variétés pures sous le nom de *cristal de roche* ou *caillou du Rhin*, ses variétés zonées sous le nom d'*agate*, etc. C'est l'accompagnement ordinaire de la plupart des minerais métallifères.

Parmi les autres minéraux cités plus haut, le *kaolin* est une argile blanche et fine, produite par la décom-

position du feldspath et composée de silicate d'alumine hydraté, que l'on trouve dans certains granites à mica blanc et qui sert à la fabrication de la porcelaine.

Les *charbons minéraux*, anthracite, houille, lignite, sont bien faciles à reconnaître à leur couleur noire et à leur combustibilité. Il arrive cependant parfois qu'on confonde avec eux de simples schistes noirs, ou des veines graphiteuses, ou encore des oxydes noirs et terreux de manganèse. On sait que le *graphite* (mine de plomb, ou plombagine) est un carbone naturel, qui forme un corps noir, à éclat brillant, presque métallique et qui tache les doigts. C'est le terme extrême de cette série des combustibles minéraux, résultat de la transformation de substances végétales anciennes, qui vont depuis l'anthracite jusqu'à la tourbe fibreuse, en passant par des houilles de plus en plus riches en matières volatiles et par des lignites. L'anthracite brûle avec une flamme courte. Les houilles, dites demi-grasses et grasses, perdent, par une calcination de quelques minutes à l'air libre, 20 à 25 0/0 de matières volatiles ; les houilles grasses maréchal, 25 à 30 0/0; les houilles demi-grasses à gaz, 30 0/0 ; les maigres flambantes, au moins 40 0/0. Cette augmentation de matières volatiles correspond avec une proportion croissante d'hydrogène et d'oxygène, accompagnés d'un peu d'azote.

Dans la houille, la proportion d'oxygène et d'azote ne dépasse pas 16,5 0/0; dans le lignite, on peut arriver à 36 0/0. Le lignite présente, en général, un éclat cireux et terne avec une poussière brune, tandis que la houille a une poussière noire.

Accessoirement, ainsi que je l'annonçais plus haut, on aura intérêt à distinguer, dans les terrains sédi-

mentaires, quelques substances plus rares, qui, par leur gisement et souvent aussi par leur aspect, se rattachent à ce groupe et sur lesquelles je vais donner plus de détails à cause de leur valeur.

Ce sont, par exemple, les *gypses*, ou pierres à plâtre, lentement solubles dans l'eau, les *anhydrites* (sulfate de chaux anhydre), les *albâtres* calcaires ou onyx d'Algérie (carbonate de chaux); puis les *phosphates de chaux* (craies et sables phosphatés, nodules phosphatés, rognons de phosphorite); les *borates de chaux* ou *de magnésie* (boracite, etc.); la *barytine* et la *strontianite*, substances blanches caractérisées par leur poids élevé; la *giobertite*, ou carbonate de magnésie, et l'*écume de mer*, substances blanches très légères; ou encore, le groupe des sels solubles dans l'eau et de suite reconnaissables par là, comme le *sel gemme*, les divers *sels de potasse*, les *nitrates* et *carbonates de soude*, etc.

Le *gypse*, ou pierre à plâtre, est du sulfate de chaux hydraté, qui cristallise souvent en grands fers de lance ou pieds d'alouette, parfois aussi en masses grenues et miroitantes, comme du sucre. On reconnaît très aisément ses cristaux à ce qu'ils se rayent à l'ongle; sa cuisson donne du plâtre.

Le *phosphate de chaux*, matière si essentielle comme engrais, se trouve abondamment sur le sol de la France, sous des formes très diverses et souvent malaisées à reconnaître sans analyse. Cependant l'attention, comme je l'ai dit déjà, doit être éveillée toutes les fois qu'aux affleurements d'un terrain argileux, marneux ou même calcaire, on voit, dans les terrains, rester de petites boules irrégulières plus dures, surtout si celles-ci ont une teinte sombre, un

aspect de ponce ou encore des reflets métalliques. Ce sont ordinairement des mélanges impurs de phosphate et de carbonate de chaux. Il existe aussi des craies phosphatées, qui se reconnaissent à une multitude de petits points bruns, des sables phosphatés blancs ou brunâtres, qui ne ressemblent pas à des sables ordinaires siliceux et peuvent, par là, attirer l'attention. Enfin le phosphate se présente encore en rognons concrétionnés, semblables à des agates, dans certaines poches superficielles des terrains calcaires : on l'appelle alors *phosphorite*. L'*apatite* est une variété de phosphate, cristallisée en prismes hexagonaux dans des roches cristallines. Elle se distingue de la plupart des minéraux des roches, qui sont des silicates, parce qu'elle se raye à l'acier, tandis que ceux-ci ne se rayent pas.

Enfin, quelques minerais métallifères pourront se trouver confondus avec les minéraux précédents : soit qu'ils constituent réellement des couches interstratifiées, comme cela pourra arriver pour les oxydes de fer et de manganèse (ocres jaunes, hématites rouge et brune, pyrolusites, reconnaissables à leur couleur jaune brun, rouge ou noir), plus rarement pour des pyrites de fer ou de cuivre, ou pour de la galène, dont je donnerai la description un peu plus loin ; soit qu'on ait affaire à des minerais carbonatés, ayant pénétré par substitution dans des calcaires.

L'*hématite rouge* (oligiste) et l'*hématite brune* (limonite) sont des oxydes de fer : le premier anhydre et donnant par sa cristallisation l'oligiste; le second hydraté, résultant fréquemment de l'altération du premier. Ce sont les deux grands minerais de fer, avec la magnétite, qui est plus rare et qui se caractérise

par son action sur l'aiguille aimantée. A l'exception de l'oligiste, qui est brillant et divisé en paillettes ou lamelles, formant souvent comme des cottes de mailles en acier, les minerais de fer n'ont pas l'aspect métallique, qui attire aussitôt l'attention sur d'autres minerais, comme la pyrite de fer ou la galène. Les hématites sont souvent des substances noires, rognonnées ou fibreuses, parfois disposées en forme de stalactites, quelquefois ressemblant à de la fonte; on trouve des variétés très importantes, qui ressemblent à un grès brun et sont formées d'innombrables petits grains arrondis d'un millimètre de diamètre; d'autres, comme une roche argileuse rouge vif; ailleurs, ce sont des granules, gros comme des pois, répartis dans une argile; ou encore, l'on a une roche brune teintée de jaune, divisée par d'innombrables cavités. En dehors du poids, qui, d'une façon générale, appelle l'attention sur tous les minerais métalliques, l'hématite rouge est caractérisée, quand on la broie, par la couleur rouge de sa poussière.

Les minerais de fer ne peuvent guère se confondre qu'avec les minerais de manganèse, qui sont, pour la plupart, comme je le dirai dans un instant, très noirs ou d'un brun foncé, sans éclat métallique.

Quant aux minerais de substitution encaissés dans les calcaires, ce sont peut-être ceux au sujet desquels on peut commettre le plus d'erreur; car ces minerais carbonatés, surtout quand ils n'ont pas été colorés par l'oxydation superficielle, se distinguent souvent fort peu des carbonates calcaires, auxquels ils passent, presque toujours, latéralement par transition progressive, et même leur poids ne suffit pas toujours à appeler l'attention. Je signalerai, dans ce genre, les

calamines, ou carbonates de zinc, qui ont souvent l'air de simples pierres, parfois de rognons ferrugineux, de meulières caverneuses, de tuiles empilées, etc. La calamine est, avec le phosphate de chaux, auquel elle ressemble souvent beaucoup, un des minerais les plus difficiles à distinguer et pour lesquels il est bon, dès qu'on hésite, de recourir à un essai chimique. Il en est de même du carbonate de fer (*sidérose*) et du carbonate de manganèse (*rhodonite*).

La *sidérose* forme de grandes masses de minerai de fer dans les terrains calcaires, avec lesquels elle présente, en pratique, toutes les transitions. Quand elle n'a pas été soumise au contact de l'air, elle est d'une teinte blonde ou brune, qui la différencie peu d'un simple calcaire, un peu taché de fer; mais, exposée quelque temps à la pluie et à l'air, elle devient brune, noire ou rouge; dans les mêmes conditions, le carbonate de manganèse, qui est rose en profondeur, passe au noir.

Enfin le carbonate de plomb, ou *cérusite*, qui est beaucoup plus rare que les carbonates précédents, attire davantage l'attention par sa forte densité; à part cela, il a souvent un aspect pierreux, grisâtre, avec des enchevêtrements de baguettes blanches luisantes, qui n'éveillent pas l'idée d'un minerai métallique.

2° En second lieu, il entre, dans la composition des **roches cristallines**, un certain nombre de minéraux, associés les uns avec les autres en un mélange intime, à grain souvent très fin et dont presque aucun n'a d'application pratique, à moins de se trouver en dimensions exceptionnelles, comme certains micas, feldspaths, etc.

Les plus abondants de ces minéraux, ordinairement

cristallisés, sont : soit des minéraux clairs, comme les *feldspaths* blancs ou roses (orthose, oligoclase, etc.), le *quartz* blanc ou grisâtre (silice cristallisée), les *micas blancs* formés de minces paillettes brillantes empilées ; soit des minéraux sombres, verts ou noirs, comme le *mica noir*, l'*amphibole* verte (très fréquente), plus rarement le *pyroxène* noir, le *péridot* vert vitreux, la *serpentine* vert noir cireux, le *grenat* en dodécaèdres ou boules rouges, brun rouge ou noires. A titre plus exceptionnel, on rencontrera, dans quelques roches, des minéraux utiles comme l'*apatite*, le *fer chromé*, la *magnétite*, ou des minéraux qui sont surtout des produits d'altération des précédents, comme les *zéolithes* (feldspaths hydratés blancs), ou l'*épidote* en baguettes vertes et la *chlorite* en petites houppes, ou paillettes vertes. Aucun de ces minéraux ne présente, à proprement parler, d'intérêt pratique ; je renvoie donc, pour leur description sommaire, au petit dictionnaire placé à la fin de ce volume.

Il importe seulement de ne pas les confondre avec des minéraux utiles, ou des minerais. Cette confusion ne pourrait guère se faire que pour le pyroxène augite, ou le grenat, avec la cassitérite (minerai d'étain) et pour l'apatite avec un silicate quelconque. Si l'on a quelques notions sur les roches, on évitera la première confusion ; car le pyroxène ne se trouve jamais dans la catégorie de roches composées de quartz et de mica blanc, où l'on rencontre la cassitérite ; en outre, le pyroxène et le grenat ne forment pas, comme celle-ci, des veines filoniennes. Quant à l'apatite, j'ai déjà dit qu'elle se distinguait de tous les silicates parce qu'elle se raye à l'acier.

J'ajoute également, à propos de cette catégorie,

une remarque qui peut s'appliquer aussi aux autres, c'est que les commençants ont toujours une tendance à s'attacher à des minéraux décomposés, oxydés, de la surface, qui souvent sont difficiles à reconnaître, tandis qu'il faut toujours chercher à avoir un échantillon frais, provenant d'une certaine profondeur.

3° La troisième catégorie des minéraux, que l'on trouve dans des **filons**, est la plus importante pour nous; car elle comprend la presque totalité des minerais métalliques, avec un certain nombre d'autres minéraux utiles. Ces minerais sont ordinairement associés avec un petit nombre de corps stériles, qui forment les *gangues* : en premier lieu, le *quartz*; puis la *calcite*, la *sidérose*, la *barytine* et la *fluorine*.

Parmi les minerais métalliques, la plupart attirent d'abord l'attention par leur éclat de métal, par leur couleur vive, ou, tout au moins, par leur densité.

Je vais, d'abord, montrer comment les **minéraux à aspect brillant métallique** se reconnaissent aussitôt à leur couleur, en passant en revue les principales couleurs que l'on peut rencontrer.

Si le minerai est **jaune clair métallique**, comme un laiton, ou blanc jaune, c'est de la *pyrite de fer*, c'est-à-dire un sulfure de fer, qui, en grandes masses, peut être utilisé comme minerai de soufre et qui, ailleurs, peut quelquefois prendre de la valeur par une légère teneur en cuivre, en nickel, plus exceptionnellement en or.

Cette pyrite est parfois en blocs à grain très fin, parfois aussi en cristaux isolés de forme cubique; elle est sujette à s'altérer à la surface et se recouvre alors d'une croûte d'oxyde de fer brun ou noirâtre, qui peut progressivement envahir toute la masse.

Avec des caractères analogues à la pyrite, si le minerai est d'un jaune orangé, ce sera de la *pyrite de cuivre*; celle-ci, dans les affleurements des filons, révèle, d'ailleurs, presque toujours, sa présence par les sels oxydés et carbonatés de cuivre, bleus et verts, qui l'accompagnent.

Toujours avec un aspect analogue, mais une nuance mordorée, se présente un corps plus rare, qui acquiert parfois de la valeur par sa teneur en cuivre ou en nickel, un autre sulfure de fer, la *pyrrhotine*.

Enfin, un dernier minerai analogue à la pyrite, mais beaucoup plus blanc, de couleur semblable à celle du maillechort, est le *mispickel*, sulfure de fer arsénical, qui contient parfois un peu d'or sous une forme difficile à extraire métallurgiquement. On ne peut guère le confondre qu'avec la *cobaltine* (arsénio-sulfure de cobalt, également blanc argentin, mais à reflets rosés) et le *bismuth natif*, très rare.

Ces différents sulfures, pyrite, chalcopyrite, etc., sont souvent pris par ceux qui n'ont pas l'habitude des minerais pour de l'*or natif*, dont la couleur, connue par les monnaies d'or, est, en réalité, beaucoup plus orangée. D'une façon générale, il faut bien se dire que les chances de trouver de l'or natif sont extrêmement minimes et, par suite, on doit toujours commencer par supposer logiquement qu'on est en présence d'autre chose. L'or se reconnaît aisément, quand on hésite, par son inattaquabilité aux acides et sa malléabilité facile.

Le *cuivre natif* à la couleur d'un cuivre déposé galvaniquement et forme des feuilles minces, ou des arborescences, comme des racines. C'est un corps rare, sauf dans quelques gisements.

Au lieu d'être jaune ou orangé, si le minerai métallique est d'un **bleu sombre**, ce sera généralement de la *galène*, ou sulfure de plomb, cristallisée en grains d'aspect cubique et caractérisée, en outre, par sa forte densité. Plus rarement, on pourra avoir de la *stibine*, c'est-à-dire du sulfure d'antimoine, toujours associé avec une gangue de quartz, cristallisé en forme de baguettes plates et striées transversalement, plus léger que la galène et fusible à la flamme d'une bougie.

S'il est **noir** brillant comme de l'acier, parfois avec des nuances bleutées, mais avec une tendance à se mettre en écailles ou paillettes, c'est de l'*oligiste*, ou oxyde de fer. Cet oligiste se couvre aisément de produits d'hydratation bruns ou jaunes. Il se distingue facilement de la galène, dans le cas où l'on hésiterait, parce qu'il donne une poussière rouge, tandis que celle de la galène reste bleue, comme le minerai en masse.

Si le minerai est d'un noir mat, avec une disposition à cristalliser en octèdres, ou si sa cassure ressemble à celle d'une fonte ou d'un acier, ce sera de la *magnétite* (oxyde de fer), aussitôt caractérisée, en cas d'hésitation, par l'attraction qu'elle exerce sur l'aiguille aimantée.

La magnétite ne peut guère être confondue qu'avec le *fer chromé*, également noir, dont le gisement ordinaire est dans les serpentines et qui peut se caractériser par la couleur verdâtre obtenue en le fondant avec le nitre, ou les couleurs orangées et jaunes des chromates alcalins; très exceptionnellement, avec le *fer titané*, ou encore avec les divers oxydes de manganèse (*haussmannite*, *braunite*, *pyrolusite*, etc.). La *cassitérite*, (oxyde d'étain), qui est également un minerai noir ou brun noir, est très différente des minéraux précédents,

parce qu'elle à l'air d'un minéral de roche translucide et non d'un minerai métallique. Parfois la *stibine* forme aussi des minerais gris à structure d'acier.

Les *oxydes de manganèse* donnent une poussière très noire, salissante comme un charbon (pyrolusite) ou noire brunâtre (braunite, haussmannite, psilomélane); on peut, en outre, en les fondant dans un creuset avec du carbonate de soude et du nitre, obtenir un permanganate de potasse, qui, dissous dans l'eau, lui communique une belle couleur violette.

Avec le *graphite* et la *molybdénite*, qui salissent les doigts, ce sont là les minerais principaux à aspect métallique noirâtre, que l'on rencontrera en général; il est toutefois quelques minerais, auxquels il peut être bon de penser :

D'abord quelques minerais de cuivre, souvent décelés, comme je le remarquais tout à l'heure, par les produits d'altération bleus et verts, qui les accompagnent à la surface.

Un minerai noir ou gris mat à grain fin, avec poussière noire ou gris noirâtre, peut être un *cuivre gris* (c'est-à-dire un sulfo-arséniure ou sulfo-antimoniure de cuivre (panabase, tennantite); s'il est noir, avec un éclat un peu huileux, se laisse couper au couteau et fond à la bougie, c'est de la *chalcosine* (sulfure de cuivre); un peu moins fusible, ce sera de l'*argyrose* (sulfure d'argent), ou de l'*argent noir* (sulfo-antimoniure d'argent), l'argyrose se coupant au couteau comme la chalcosine.

Un minerai encore à grain fin compact, avec des nuances irisées ou panachées, violettes, passant au bleu et au brun, peut être un sulfure de fer et de cuivre, la *phillipsite*.

Puis l'on peut avoir, dans une gangue de quartz, un minerai très lourd, noir de graphite, avec tendance à offrir de grandes faces aplaties et luisantes; ce sera du *wolfram*, tungstate de fer et de manganèse à poussière brune, à fusibilité facile, avec lequel on pourra s'attendre à trouver de l'étain ou du bismuth.

Comme minerais plus clairs, **gris** ou **blancs**, on rencontrera rarement des minerais de nickel, cobalt ou bismuth, reconnaissables, pour la plupart, à certaines particularités : le nickel à ses altérations vertes, le cobalt à ses oxydes roses, le bismuth à ses altérations jaunes.

La *bismuthine* est d'un gris de plomb clair, souvent avec un enduit jaune verdâtre d'oxyde de bismuth; le *bismuth natif* et la *cobaltine* (sulfoarséniure de cobalt) sont d'un bleu d'argent rougeâtre ; la *smaltine* (arséniure de cobalt) et la *chloanthite* (arséniure de nickel), d'un gris d'acier; la *nickeline* (autre arséniure de nickel) est, au contraire, d'un rouge cuivre.

Les **minéraux à couleurs vives**, éclatantes, opaques ou transparentes, sans éclat de métal, sont souvent aussi des minerais métalliques, ou des minéraux utiles, bien que quelques-uns d'entre eux puissent être également des minéraux sans valeur.

Un **minerai rouge**, vermillon ou rouge violacé, soit en cristaux très éclatants, soit en masses compactes, ou en poussière éparpillée sur une roche, peut être du *cinabre*, sulfure de mercure. Le cinabre se volatilise très aisément et peut se réduire en donnant des gouttelettes de mercure métallique.

Comme autres corps rouge vif, avec lesquels on pourrait le confondre, je citerai d'abord le plus fréquent, l'*hématite rouge*, ou oxyde de fer, qui forme,

dans les terrains sédimentaires, des couches continues. La seule abondance du minerai pourra déjà faire présumer que c'est de l'hématite; car le cinabre est un corps très rare.

Le *réalgar*, ou sulfure d'arsenic, est un corps rouge cochenille, dont la poussière est rouge orangé. La *cuprite* (oxyde de cuivre) forme rarement de petits cristaux cubiques et transparents, mais avec éclat métallique d'un rouge foncé (poussière rouge brique). L'*argent rouge* est un minéral présentant aussi une vague analogie avec le cinabre, mais toujours accompagné d'autres minéraux d'argent, argent noir, argent natif (semblable à des racines ou à des cheveux d'argent entrelacés).

Parmi les minéraux durs, le *zircon* peut être rouge, ainsi que le *rubis*; le *rutile* est d'un rouge brun, avec un aspect presque métallique et une poussière grise. Enfin, d'autres substances exceptionnelles, avec lesquelles on pourrait encore confondre le cinabre, sont le *kermès*, ou oxyde d'antimoine, et la *crocoïse* (chromate de plomb), en aiguilles rouges, qui accompagne exceptionnellement la galène.

Les **minéraux jaunes** et jaune brun, sans aspect métallique comme la pyrite, sont peu nombreux : dans les gîtes métallifères, un tel minéral, en cristaux à clivages cubiques ou en masses, transparent ou du moins translucide, avec un éclat gras très spécial tenant à la forte réfringence, sera, le plus souvent, de la *blende*, ou sulfure de zinc. Le *soufre natif*, qui se reconnaît aussitôt à sa fusion facile et à sa fragilité, est d'un jaune citron caractéristique; l'*orpiment* (sulfure d'arsenic) forme des masses lamellaires d'un jaune d'or ou jaune orangé très vif; parmi les

silicates des roches, l'*idocrase*, le *grenat*, le *sphène*, le *zircon* seront quelquefois jaune brun [1]. Puis, dans les gisements de plomb, on peut trouver exceptionnellement, avec de la galène, des baguettes jaunes ou jaune brun de *pyromorphite* (chloro-phosphate de plomb), des tablettes brillantes jaune miel de *wulfénite* (molybdate de plomb), ou de petits barils jaunes de *mimétèse* (chloro-arséniate de plomb). Enfin, des substances jaunes amorphes signalent souvent, aux affleurements, les gîtes d'étain, d'antimoine et de bismuth.

Un **minéral vert**, s'il est clair et opaque, sera, en général, de la *malachite*, ou carbonate de cuivre, rarement de la *garniérite*, ou silicate de nickel; s'il est translucide, on pourra songer à la *calamine*. S'il était vert transparent, ce serait probablement de la *fluorine* (fluorure de calcium), cristallisée en cubes, très cassante et souvent associée à de la barytine. L'*émeraude* est également verte et transparente; mais c'est un minéral trop rare pour qu'on doive s'attendre à le rencontrer. L'*uranite* forme des écailles d'un vert éclatant sur des roches de quartz. Il peut y avoir aussi des baguettes de *pyromorphite* vert d'herbe, des baguettes d'*épidote* ou d'*amphibole* vert sombre, de petits cristaux verts transparents de *péridot*, ces derniers seulement dans les roches et point dans les filons.

Un **minéral bleu**, s'il est opaque, a toutes les chances pour être un *carbonate de cuivre*, mais pour-

1. Le zircon a déjà été noté plus haut comme minéral rouge. Il ne faut pas oublier que le même minéral, défini par sa composition chimique et ses propriétés physiques (minéralogiques et optiques), peut offrir des couleurs très variables. Ainsi il existe des diamants bleus, rouges, noirs, verts, bruns, jaunes, etc.

rait être également un *lapis lazzuli*; le premier se reconnaît, comme tous les carbonates, par une attaque à l'acide chlorhydrique. Transparent et bleu sombre, il pourrait être encore de l'*azurite*; on trouve aussi de la *fluorine* bleue; il est inutile de penser au *saphir*, à la *topaze* et au *corindon*, qui sont des raretés; translucide, ce sera parfois de la *calamine*.

Un **minéral rosé**, s'il est opaque, désignera souvent un sel de *cobalt*. Rose et transparent, il fera songer à la *topaze*, qui est rare; **violet translucide**, c'est, ou de la *fluorine*, ou de l'*améthyste*.

On voit donc que, par ce premier examen très sommaire, on reconnaîtra, les uns des autres, la plupart des minéraux utiles; on ne serait arrêté que pour les minéraux silicatés des roches, qui sont très nombreux, assez analogues les uns aux autres par leur aspect et ne se distinguent bien que par un examen cristallographique, dont je ne puis songer à donner même le principe. Mais les minéraux utiles présentent heureusement, pour la plupart, des particularités plus typiques.

Si l'on hésite entre deux ou trois minéraux après ce premier coup d'œil, on recourra à quelques autres qualités physiques : densité, dureté, fusibilité, etc.

La **densité** très forte de la plupart des minerais métalliques les distingue aussitôt de presque tous les autres minéraux. Quand ils veulent préciser, les minéralogistes mettent parfois les minéraux en suspension dans certaines liqueurs de densité déterminée, si lourdes que la plupart d'entre eux y surnagent, tandis que d'autres tombent au fond. C'est un procédé qui ne peut s'employer hors du laboratoire; je crois pourtant utile de reproduire ici la liste des

principaux minéraux, classés par poids spécifique croissant :

Minéraux classés d'après leur poids spécifique [1] *(ou leur densité).*

Pétrole, Eau	0,6 à 1,0
Résines, Houilles, Natron	1 à 1,5
Borax, Nitre	1,5 à 2,0
Gypse, Zéolithes, Graphite, Soufre	2,0 à 2,5
Quartz, Feldspaths, Emeraude, Serpentine, Calcite	2,5 à 2,8
Aragonite, Dolomie, Anhydrite, Mica	2,8 à 3,0
Fluorine, Apatite, Hornblende, Augite, Péridot, Epidote, Tourmaline, Topaze	3,0 à 3,5
Sidérose, Malachite, Limonite, Corindon	3,5 à 4,0
Barytine, Rutile, Fer chromé, Chalcopyrite, Blende	4,0 à 4,5
Oligiste, Pyrite, Marcassite, Stibine, Cuivre gris (panabase)	4,5 à 5,5
Magnétite, Mispickel, Chalcosine, Argent rouge	5,5 à 6,5
Cérusite, Cassitérite, Galène, Argent sulfuré (argyrose)	6,5 à 8,0
Cinabre, Cuivre, Bismuth	8 à 10
Argent, Plomb, Mercure	10 à 14
Or, Platine	15 à 21
Iridium	21 à 23

La forte densité fait aussitôt reconnaître la barytine, le wolfram, la schéelite (tungstate de chaux), la cassitérite, l'arsenic natif et les oxydes d'antimoine. Au contraire, la stibine étonne par sa légèreté, étant donné son aspect métallique analogue à celui de la galène.

En ce qui concerne la **dureté**, on a classé quelques minéraux types dans l'ordre suivant, qui correspond

1. La densité se confond avec le poids spécifique, si on prend le centimètre cube pour unité de volume et le gramme pour unité de poids.

à une dureté de plus en plus grande en suivant les numéros d'ordre :

Rayé à l'ongle.	1. Talc. 2. Gypse, sel marin.	Raye le verre.	6. Orthose. 7. Quartz. 8. Topaze, émeraude. 9. Corindon, émeri. 10. Diamant.
Rayé à l'acier.	3. Calcite. 4. Fluorine. 5. Apatite.		

Chacun de ces minéraux raye le précédent et est rayé par le suivant. Les deux premiers sont rayés à l'ongle; les numéros 3 à 5, rayés à l'acier; les numéros 7 à 10 rayent le verre.

La **fusibilité** permet de distinguer aussitôt la *stibine* ou sulfure d'antimoine, la *chalcosine* (sulfure de cuivre), le *bismuth* et la *sénarmontite* (oxyde d'antimoine blanc), qui fondent à la flamme simple d'une bougie. Si l'on emploie le chalumeau, on pourra fondre même le grenat. On se servait autrefois beaucoup, pour le diagnostic, de cet instrument, qui est un peu démodé en France, mais encore très utilisé en Allemagne. Comme fondants, on utilise, avec lui, soit le carbonate de soude, qui est un fondant réducteur, soit le borax, soit le sel de phosphore, qui sert surtout à la reconnaissance des silicates, soit enfin le nitre, corps oxydant, qui sert à distinguer, par exemple, le chrome à la couleur verdâtre obtenue et le manganèse à la couleur violette.

Quelques autres caractères ne sont propres qu'à un très petit nombre de minéraux.

Un **corps noir salissant les doigts**, s'il n'est pas un combustible, sera du *graphite* ou de la *molybdénite*.

Une **matière concrétionnée**, si elle est noire, pourra être de l'*arsenic natif*, formant des masses tes

tacées gris noir, qui se volatilisent à la chaleur avec une odeur d'ail; brun noir et un peu molle, du *bitume*; ou, si elle est de nuance claire, de la *calcédoine*, de l'*opale*, de la *calamine*, de la *phosphorite*, les deux derniers minéraux se rayant seuls à l'acier.

Des **forêts d'aiguilles** gris noir d'aspect métallique seront ordinairement des *oxydes de manganèse* (acerdèse ou pyrolusite); des aiguilles noires d'une teinte un peu rougeâtre, à poussière jaune, de la *gœthite* (oxyde de fer hydraté); des baguettes métalliques d'un gris de plomb, soudées ensemble, seront de la *stibine* ou de la *bismuthine*; au contraire, des enchevêtrements de baguettes vertes translucides seront de l'*épidote* ou de l'*amphibole* (actinote, trémolite); des fibres blanches peuvent être de l'*aragonite*, de la *strontianite*, de la *withérite* (carbonate de baryte).

Des **arborescences** d'aspect végétal, comme des fougères, sur la surface d'une roche, si elles sont noires, seront de l'*oxyde de manganèse*; si elles sont blanc d'argent, du *bismuth natif*.

Les **substances formées de lamelles superposées** sont, en outre du *mica* : l'*oligiste*, qui, par sa couleur en masse, ressemble parfois à de la galène, mais que la couleur rouge de sa poussière en distingue aisément; la *valentinite*, oxyde d'antimoine en paillettes blanches ou jaunâtres très lourdes; la *molybdénite* et le *graphite*, substances grises; la *tridymite*, variété rare de silice, en cristaux blancs presque microscopiques, dans des géodes, etc., etc.

Les minerais présentent, dans leurs gisements, un certain nombre d'**associations caractéristiques**, qui peuvent aider à les reconnaître. Je signalerai, parmi les plus habituelles, les suivantes :

Blende, galène argentifère et pyrite de fer.
Pyrites de fer et de cuivre, parfois avec un peu de nickel.
Nickel et cobalt.
Or et argent.
Fer, manganèse et phosphore.
Cassitérite, wolfram, minerais de bismuth, mispickel, quartz, mica blanc ou mica lithinifère, parfois fluorine, apatite.
Or (souvent argentifère), quartz et pyrite de fer, ou mispickel.
Cuivre gris argentifère et sidérose.
Stibine et quartz.

Puis, moins ordinairement :

Argent, cobalt et calcite.
Argent, manganèse et baryte.
Barytine, oxyde de manganèse et phosphate de chaux.
Étain et cuivre.

Ajoutons que les **minerais ordinaires des principaux métaux** sont les suivants :

Aluminium.	Bauxite (oxyde ferrugineux).
Antimoine..	Stibine (sulfure) et oxydes.
Argent.....	Galène argentifère; sulfure, sulfo-arséniure et sulfo-antimoniure (argyrose, argents rouges et noirs).
Chrome.....	Fer chromé.
Cobalt.....	Sulfure, arséniure, oxyde.
Cuivre.....	Chalcopyrite, pyrite de fer cuivreuse, cuivre gris, phillipsite, cuivre natif.
Étain.....	Cassitérite (oxyde).
Fer.....	Oxydes (hématite ou oligiste, magnétite). Sidérose.
Manganèse..	Oxydes.
Mercure.....	Cinabre (sulfure).
Nickel.....	Garniérite (silicate), pyrrhotine nickélifère, sulfure et arséniure.
Or.....	Or natif; pyrite de fer aurifère.
Plomb.....	Galène (sulfure) et cérusite (carbonate).
Tungstène..	Wolfram (tungstate de fer et manganèse).
Zinc.....	Blende (sulfure) et calamine (carbonate).

B. **Évaluation d'un gisement. — Grandes catégories de gîtes métallifères. Leur origine.** — Les notions de minéralogie pratique, résumées plus haut, peuvent permettre de reconnaître, en un point, l'existence d'une substance minérale utile et donner l'idée d'y faire quelques recherches pour constater la valeur de la richesse découverte et, le cas échéant, s'il s'agit d'une substance concessible, en demander la concession. De tels travaux s'exécuteront malaisément sans le concours d'un spécialiste; mais il sera parfois utile d'en connaître le principe, ne fût-ce que pour comprendre et suivre le travail de celui-ci.

Quand on veut apprécier la valeur industrielle d'un gisement, les principaux points à déterminer sont les suivants :

1° Extension présumée du gîte et cubage approximatif des quantités de minerai qu'il contient.

2° Nature et teneur des minerais, leurs variations possibles en profondeur, leurs facilités de préparation mécanique et de traitement métallurgique; proportion de stérile à abattre pour obtenir une tonne de minerai.

3° Extraction annuelle possible à atteindre, en raison des conditions d'exploitation, du personnel ouvrier de la région, du climat, etc.; capital à engager dans l'affaire.

4° Prix de revient par tonne de minerai pour une extraction de...., basé sur une estimation du prix des matières premières (bois, charbon, eau, explosifs, subsistances), des machines, des salaires, des transports, etc., en tenant compte des frais généraux, de l'amortissement et de l'intérêt du capital engagé.

5° Débouchés commerciaux ; ventes possibles ; avantages et inconvénients d'élaborer plus ou moins le minerai, peut-être de le traiter métallurgiquement, avant de l'expédier.

La réponse à chacune de ces questions comportera nécessairement une grande part d'hypothèse, que l'expérience et l'instruction professionnelle permettront seules de réduire par déduction rationnelle ou par comparaison. Si on les suppose résolues, on a les éléments nécessaires pour calculer le prix de vente et le prix de revient du minerai et, en multipliant la différence par le nombre de tonnes à extraire, déterminer le bénéfice annuel. Il faut seulement se défier de la facilité avec laquelle cette dernière opération arithmétique, quand on exagère (comme on y a toujours une tendance involontaire) l'extraction et les débouchés espérés, amplifie démesurément les inévitables erreurs du prix de revient dans un sens favorable aux espérances conçues.

La plupart des problèmes énumérés plus haut sont d'ordre technique, industriel ou commercial ; je n'ai donc pas à en parler ici ; mais je dois montrer comment on peut essayer de répondre aux deux premiers, qui sont, au contraire, géologiques : 1° cubage des minerais (le mot minerais étant entendu dans un sens assez large pour comprendre toutes les substances minérales utiles) ; 2° appréciation de leur nature, de leur teneur, de leur proportion au stérile, de leurs variations en profondeur.

Le *cubage des minerais* ne peut résulter que d'une supposition sur l'allure et la forme du gîte dans les parties inaccessibles à nos regards, auxquelles vont s'attaquer les travaux. Nous sommes donc amenés à

rappeler quels sont les *principaux types de gisements*; ce qui comporte une explication sommaire de leur origine, explication, dans laquelle il sera difficile d'éviter des considérations un peu ardues, mais dont le lecteur, qu'elles effrayeraient, n'aurait qu'à consulter les conclusions.

Sans faire ici une théorie sur la formation des gîtes métallifères et sur la concentration des substances utiles dans certains gisements, on peut dire, en deux mots, que tous les minéraux et éléments chimiques terrestres proviennent originairement des matières fondues ou gazeuses, qui ont constitué d'abord, en un mélange confus, notre globe à l'état incandescent. Ces éléments se sont progressivement isolés, classifiés, différenciés, sous l'action de deux agents essentiels, le feu et l'eau, que deux écoles opposées, dans les débuts de la géologie, supposaient avoir agi seuls l'un ou l'autre, et ceux-ci ont été aidés eux-mêmes par les diverses forces physiques ou les réactions chimiques propres à établir entre les corps des distinctions de plus en plus précises, comme celles auxquelles nous avons recours dans nos laboratoires pour les isoler : par la densité, la fusibilité, la volatilité, peut-être la conductibilité électrique, la solubilité dans l'eau, l'affinité pour quelques corps, appelés des minéralisateurs, tels que le fluor, le chlore, le soufre, l'acide borique, l'acide carbonique, etc.

Dans l'ordre logique, la première classification a été faite par le feu; elle a abouti à la cristallisation des roches éruptives, avec tous les groupements minéraux qui les constituent et à l'isolement, par cémentation, par ségrégation, de certains éléments, ainsi qu'au départ de certains autres sous formes de

bouffées gazeuses, de fumerolles. Puis le travail a continué, et se continue sans cesse, sous l'action des eaux, en adoptant deux formes, l'une chimique, l'autre mécanique; il s'est d'abord effectué, avec une intensité spéciale et parfois en connexion directe avec les phénomènes ignés, par les eaux souterraines; il s'est produit ensuite, à la surface, par des actions de sédimentation, de précipitation, qui, je le répète, ont pu être, soit purement chimiques, avec intervention au besoin des organismes vivants, soit, au contraire, mécaniques; enfin, sur tous les gisements déjà formés, il se complète, chaque jour, par un métamorphisme superficiel, dû aux eaux oxydantes et chargées d'acide carbonique, dont j'ai donné précédemment les lois [1].

Cet ensemble de phénomènes, qui, bien entendu, ne tient aucun compte de la distinction arbitraire établie par l'homme entre les substances jugées par lui utiles ou stériles, embrasse et explique à la fois la formation de tous les éléments géologiques, roches, terrains, etc. Il faut bien se rendre compte que, malgré la division logique adoptée plus haut pour la facilité de l'exposition, il ne comporte pas, dans l'histoire du globe, deux phases réellement successives et séparées l'une de l'autre, l'une appartenant au feu, l'autre appartenant à l'eau, mais que ces deux phases ont empiété constamment l'une sur l'autre et se sont enchevêtrées, suivant qu'à un moment donné, dans une région du globe, ont dominé le volcanisme ou la sédimentation.

Si l'on cherche à aller plus loin, on voit que toutes les grandes étapes de l'histoire géologique paraissent

1. Chapitre II.

subordonnées à une contraction générale, due au refroidissement de notre planète, qui elle-même entraîne des dislocations de notre écorce, sur le caractère géométrique desquelles divers savants ont, par un abus des raccordements hypothétiques, un peu trop insisté.

Ces dislocations ne se sont pas produites d'une manière continue et constante, mais comportent des phases de paroxysme, suivies de périodes d'accalmie ; elles se sont manifestées au dehors par des plissements, déversements de plis, charriages de ceux-ci, etc., c'est-à-dire par des surgissements de montagnes, ou par des effondrements de voussoirs faibles : en un mot, par des accidents mécaniques, avec lesquels nous allons voir en rapport, d'une part les montées de roches éruptives et les fissures filoniennes, de l'autre les sédimentations, c'est-à-dire les deux causes déjà attribuées à la concentration des minéraux divers en certains gîtes, où nous venons chercher ceux qui nous paraissent utiles. L'étude attentive de la géologie a montré de plus que ces accidents mécaniques s'étaient déplacés avec le temps à la surface de la terre, en sorte que — les grands paroxysmes de plissement ayant été, par exemple, au nombre de cinq — chaque portion de la terre a subi, par-dessus tout, l'action de l'un d'eux et l'écho affaibli de un ou deux autres : les gîtes métallifères d'une région limitée, qui sont en rapport avec ces mouvements, se rattachent donc, pour la plupart, à une ou deux époques déterminées : ce qui aide pratiquement à en prévoir certains caractères.

Si l'on prend l'Europe comme exemple, les plisse-

ments orographiques paraissent être partis du pôle à des époques primordiales pour se produire successivement en des zones de plus en plus rapprochées de notre Méditerranée, qui est aujourd'hui la zone active de notre hémisphère, probablement destinée aux bouleversements futurs. Il en résulte, dans l'ensemble, que les gisements métallifères de Norvège sont plus anciens que ceux du Plateau Central ou de Bohème et ceux-ci que les gîtes des Alpes, des Apennins ou d'Algérie. En France, les grands accidents sont surtout de deux âges : l'un carbonifère et permien, l'autre tertiaire.

Or, dans les régions qui ne sont plus troublées et soulevées par les plissements, la force continue des érosions météoriques, sur laquelle j'ai insisté dans un chapitre antérieur [1], a pour effet constant de niveler, d'aplanir le sol, en rabotant ses parties hautes pour combler les dépressions avec leurs débris.

Dès lors, plus une chaîne de plissement est ancienne, plus ses saillies ont dû être enlevées ; plus, en conséquence, on en voit au jour les racines profondes et la partie profonde de ses venues rocheuses ou métallifères. La conséquence est que, suivant l'âge de son dernier plissement, chaque région comporte des types de gîtes métallifères différents, correspondant à des cristallisations effectuées primitivement à une distance plus ou moins grande de la superficie. Un gîte norvégien ne ressemble pas à un gîte du Plateau Central, ni celui-ci à un gîte algérien, et le gîte norvégien correspond, en moyenne, à une formation beaucoup plus profonde que ces derniers.

1. Pages 41 à 62.

Quand on envisage maintenant une période de plissement déterminée, il est aisé de voir comment elle a entraîné des concentrations ignées ou aqueuses de minéraux, qui doivent, pour chacune de ces périodes, se reproduire à peu près dans le même ordre, sinon avec la même intensité, et en obéissant aux mêmes lois.

L'existence des volcans en activité prouve, en effet, suffisamment qu'il existe, à une profondeur quelconque dans la terre et qu'il a évidemment toujours existé des matières en fusion, dont la compression interne, due aux plissements ou aux effondrements, favorise l'ascension vers la superficie.

Ces matières en fusion englobent des métaux de tous genres, avec des métalloïdes minéralisateurs, chlore, soufre, bore, carbone, etc., qu'un cycle perpétuel peut contribuer à ramener à leur contact sous forme d'eaux de mer, infiltrées depuis la superficie, et ces minéralisateurs exercent, sur les divers métaux, une attraction variable de l'un à l'autre, en même temps que les différences de densité et de fusibilité influent déjà pour les séparer. Les magmas rocheux en fusion subissent de plus eux-mêmes une cémentation qui porte d'abord vers le haut les scories acides plus légères, avec les produits gazeux volatils et les métaux acidifiables entraînés par eux, et laisse, au fond de ces sortes de creusets internes, les matières basiques plus lourdes, avec un résidu de métaux sans affinités chimiques prononcées; enfin, pendant les grands mouvements du sol, les eaux superficielles, introduites par l'écorce fissurée au contact des roches en fusion, y saisissent les éléments volatilisés et les entraînent en dissolution vers les fractures des filons, où ils cristallisent, etc. Cet ensemble de

faits a donc produit, pour chaque période de dislocation ou de plissement géologique, les conséquences suivantes :

1° Les magmas basiques, qui sont essentiellement des magmas de profondeur ou des magmas tardifs et que l'on trouve, par suite, surtout dans les pays de plissements anciens, ou, dans les autres, à la fin des périodes éruptives, retiennent, dans le premier cas, des inclusions métallifères semblables à ces grenailles de fonte prises dans les scories ; et surtout, au moment de leur cristallisation en profondeur sous un couvercle alors très épais de terrains, il s'est produit un départ relatif de ces éléments métallifères, qui a amené leur concentration en des **gîtes de ségrégation directe et de contact.**

Nous avons là un premier type de gisements, qui, d'après une remarque précédente sur l'histoire des plissements terrestres, sera surtout propre aux régions septentrionales, telles que la Scandinavie et le Canada, mais qui, accidentellement, pourra se présenter aussi ailleurs : ce sont des gîtes de profondeur, associés à des roches basiques.

Par leur mode de formation même, ces gîtes constituent, soit des lentilles plus ou moins grosses dans la roche même, soit surtout des masses ayant pu pénétrer dans les terrains encaissants, quand ceux-ci s'y prêtaient par leurs interstices et, tout particulièrement, dans les terrains schisteux, qui sont parfois imprégnés de minerais sur une certaine étendue.

Les exemples caractéristiques de ce genre de gisements sont les grains, nodules ou amas de platine, magnétite, fer chromé, les amas de pyrite de

fer ou de pyrrhotine, souvent cuprifère ou nickélifère, et ceux de chalcopyrite, accompagnant, dans certains cas, la magnétite.

Pratiquement, on voit que ce genre de gîtes sera toujours essentiellement limité en tous sens, par suite de son mode de formation même, et constituera, dès lors, une ressource, parfois très abondante, très concentrée surtout, mais essentiellement précaire, dont il sera impossible de prévoir d'avance l'extension et à la disparition de laquelle on devra s'attendre.

2° Un second type de gisements est représenté par les **filons**. Ceux-ci se sont toujours formés par la cristallisation, dans des fractures du sol, de substances entraînées en dissolutions par les eaux chaudes souterraines. Dans la majeure partie des cas, celles-ci paraissent elles-mêmes avoir reçu ces substances sous forme de fumerolles volcaniques, émanant des roches en ignition, soit fondues, soit à peine refroidies; quelquefois aussi elles ont dû se contenter de déplacer des éléments déjà consolidés dans l'écorce terrestre, en reportant ici ce qu'elles avaient commencé par dissoudre un peu plus loin.

Pratiquement, il y a lieu d'attacher une grande importance à la reconnaissance du genre des fractures, ainsi converties en filons, auxquelles on a affaire, et à l'origine profonde ou superficielle des éléments qui y ont cristallisé. Évidemment, plus la fracture sera susceptible de continuité et d'extension en profondeur comme en direction, plus aussi les éléments minéraux proviendront directement de leur origine première, qui est la roche ignée, plus on aura de chances d'avoir un filon important et riche. De simples fissures de retrait, des cassures superficielles

d'une roche ou d'un terrain n'auront pu, au contraire, donner lieu qu'à des gîtes précaires.

Dans ces cristallisations de minéraux filoniens, les conditions de chaleur et surtout de pression ont visiblement exercé une influence prépondérante. Il y a des minéraux qui n'ont pu cristalliser qu'en présence d'un excès de principes volatils et sous une forte pression : ceux-là n'auront pu s'éloigner bien loin de la roche mère, ni surtout se rapprocher beaucoup de la superficie; on les trouvera donc de préférence dans des gisements de profondeur, dont l'apparition actuelle au jour n'est que le résultat du rabotage constant dû à l'érosion; mais, comme le départ de ces métaux en dissolution a exigé des minéralisateurs énergiques — en rapport, nous l'avons dit, avec les roches acides —, nous ne les verrons que d'une façon restreinte dans la zone tout à fait profonde, telle que la zone scandinave, surtout caractérisée par des roches basiques. Les gîtes d'étain, qui représentent le type de cette catégorie, se présentent surtout dans ce qu'on appelle la chaîne hercynienne (Espagne, Plateau Central, Bretagne et Cornouailles, Saxe, etc.), chaîne d'âge carbonifère, intermédiaire entre les chaînes primordiales du nord et les chaînes récentes de la région méditerranéenne; l'étain, avec les autres minéraux qui l'accompagnent : wolfram, mispickel (parfois aurifère), bismuth, etc., y est toujours associé avec des granites à mica blanc.

Dans la même zone, on trouve, tout spécialement, un autre métal dont la gangue est toujours quartzeuse, comme celle de l'étain et qui est associé avec des roches analogues (granites à mica blanc ou microgranites), c'est l'antimoine.

Enfin, le départ plus complet a produit, loin de la roche mère, les filons concrétionnés proprement dits, dont la Saxe offre le type classique : filons à zones régulières de galène, blende, pyrite, minerais de nickel, de cobalt, d'argent, etc.

Les substances, qui, par leur volatilité plus grande, ou par leur dissolution plus facile, ont pu être entraînées plus loin vers la superficie, sont — au moment de chacune de ces phases de plissement, qui ont constitué, en même temps, des phases métallifères — montées vers la surface et n'ont cristallisé qu'au voisinage de celle-ci. Il en résulte que, dans les chaînes très anciennes, on a fort peu de chances d'en trouver, non pas qu'il ne s'en soit pas produit, mais parce que ce qui a pu s'en produire a disparu avec les parties enlevées dans l'érosion.

On les rencontre surtout dans les parties hautes des chaînes récentes, comme les Alpes ou leurs branchements géologiques (Apennins, Carpathes, Atlas, etc.), et il en résulte que leurs filons ont des chances pour être beaucoup moins réguliers que les précédents : les grandes fractures régulières du sol ne devenant dominantes qu'à une certaine profondeur, tandis qu'à la surface elles sont accompagnées par des multitudes de fissures locales et sans continuité. Cependant, comme de grandes fractures peuvent exister aussi à la surface, on a de fort beaux filons dans certaines de ces chaînes récentes, comme les Montagnes Rocheuses ou les Andes. Les types de ce genre de gisements sont donnés par le mercure, parfois l'or, accessoirement le cuivre ou par les corps à sels très solubles, très faciles à remettre en mouvement, comme le fer, la chaux, etc.

Pour la même raison, ce sont ces substances que l'on retrouve aussi dans les eaux thermales actuelles, uniquement parce qu'elles sont plus solubles que les autres, tandis qu'on ne voit pas sous quelle forme une eau thermale, arrivant au jour, pourrait contenir de l'étain en dissolution et le déposer à son griffon.

Enfin, 3°, les gisements, que l'on considère en pratique comme les plus favorables à l'industrie minière, sont les **gisements sédimentaires** de précipitation chimique, ou même mécanique.

Ceux-ci résultent d'une sédimentation analogue à celle qui a formé tous nos terrains de calcaires, grès, schistes, etc., mais appliquée, par suite de circonstances locales, à des eaux, où se trouvaient en dissolution ou en suspension des éléments minéraux utiles, arrivés à un degré de concentration suffisant.

On conçoit aussitôt pourquoi un gîte sédimentaire présente au mineur des conditions plus avantageuses qu'un filon ou qu'un amas; c'est, en effet, qu'il n'est pas limité comme ce dernier, ni ordinairement irrégulier et discontinu comme le premier, mais, au contraire, souvent très constant dans son épaisseur et sa teneur sur de grandes étendues et, en outre, qu'il affecte, en principe, une allure à peu près horizontale, n'exigeant pas un approfondissement rapide, avec des travaux d'épuisement, d'extraction, de plus en plus coûteux, comme un filon, parfois même permettant un simple dépilage à ciel ouvert, ou du moins par des galeries débouchant à niveau dans une vallée.

Les substances que l'on trouvera sous forme sédimentaire seront nécessairement : dans les gîtes d'origine chimique, des substances solubles et, dans les gîtes d'origine mécanique, des éléments que leur

densité aura aussitôt séparés des autres et concentrés, ou que leur dureté aura fait résister à la destruction plus longtemps, de manière à en amener la concentration relative. Les gîtes d'origine mécanique sont toujours beaucoup plus irréguliers et moins continus que les gîtes d'origine chimique. Une troisième catégorie de gîtes sédimentaires utiles résulte de la précipitation directe de débris organisés, ayant appartenu à des êtres vivants.

Dans la première catégorie, on aura surtout des gîtes de sels solubles dans l'eau, comme ceux de potasse ou de soude, le sulfate de chaux etc., ou de sels aisément dissous à la faveur de réactifs simples (tels que l'acide carbonique), fer, chaux, alumine; plus rarement des métaux proprement dits, dissous à l'état de sulfate et reprécipités en sulfure par une action réductrice, cuivre, zinc, plomb, fer, etc.

Dans la seconde catégorie, on aura les alluvions stannifères, aurifères ou platinifères; puis la dureté seule a concentré les diamants, rubis, saphirs et autres gemmes, qu'on trouve dans les alluvions.

Enfin, dans la troisième catégorie, le type des gîtes organiques est donné par les combustibles minéraux, auxquels on peut ajouter parfois le carbonate et le phosphate de chaux.

En **résumé**, on peut avoir les cas suivants :

1° *Gîtes de ségrégation directe et de contact*, formant des amas ou lentilles limités (magnétite, fer chromé, pyrites, etc.).

2° *Filons*, constituant, soit de grandes fractures profondes, soit des fissures superficielles et rapidement coincées en profondeur. Ces filons seront souvent réguliers et continus dans le cas des sulfures de plomb,

zinc, fer ou cuivre; irréguliers avec l'étain et l'antimoine.

3° *Gisements sédimentaires*, soit de précipitation chimique (sel gemme, gypse, etc.), soit de dépôt mécanique (or, diamant), soit d'origine organique (combustibles minéraux).

Ces brèves explications auront montré comment le cubage préalable d'un gîte nouveau dépend essentiellement de l'hypothèse qu'un examen superficiel et des travaux sommaires auront permis de faire sur sa constitution. Il faut, nécessairement, pour juger, d'après un simple affleurement, de ce que deviendra un gîte en profondeur, avoir conçu une idée de son mode de formation, tout au moins l'avoir reconnu comparable par cette formation à tel ou tel autre gisement, dont on sait l'allure profonde. Ces points de comparaison, tout à fait indispensables, qu'une étude théorique approfondie, ou une longue expérience, peuvent seules fournir, manqueront nécessairement à notre lecteur. Il doit d'autant plus se tenir en garde contre certains adages, entretenus chez tous les chercheurs de mines par ces illusions de joueur tenace et trop souvent malheureux, qui les caractérisent : par exemple, contre cette idée que tout gisement doit s'améliorer en profondeur, ce qui peut être vrai dans certains cas, comme pour les charbons, souvent éventés à la superficie, mais ce qui, dans bien d'autres circonstances, est tout le contraire de la vérité. Je reviendrai tout à l'heure, avec quelques détails, sur cette question des variations en profondeur qui constitue, en résumé, tout le problème d'une évaluation anticipée, portant sur un gîte nouveau. Je vais ajouter seulement, dans le paragraphe suivant, quelques remarques générales

sur le cubage, en quelque sorte géométrique, des minerais, supposés d'abord, pour plus de simplicité, constants et permanents dans leur nature et dans leur teneur en métal utile.

C. **Moyens de cubage préalable d'un gisement. — Recherche du prolongement d'un gîte connu. Examen géologique. Étude au magnétomètre. — Travaux d'exploration. Galeries, descenderies et sondages. — Prises d'essai.** — Un affleurement de minerai étant reconnu, pour en apprécier l'importance et l'extension, il faut déterminer : 1° sa longueur et sa largeur, autrement dit sa section horizontale à la superficie; 2° son développement et son allure en profondeur; 3° sa teneur.

Le premier problème est exactement celui qui se pose aussi à un mineur cherchant à retrouver le prolongement d'un gisement en exploitation : il s'agit, en effet, de savoir jusqu'où se poursuit la veine, de forme quelconque, que l'on a observée d'abord sur un espace restreint. Les moyens à employer pour le résoudre sont : en premier lieu, l'examen géologique de la surface, aidé parfois d'une étude au magnétomètre, ou avec tout autre instrument; puis les tranchées ou sondages.

L'*examen géologique* commencera par faire apprécier la nature du gisement, les recherches ultérieures devant prendre une direction différente suivant qu'il s'agit d'un amas, d'un filon, ou d'une couche sédimentaire. En procédant, au début, de proche en proche, on arrivera, presque toujours, assez vite à voir si le gîte est limité à la surface par une courbe fermée voisine d'une ellipse, ou s'allonge, au contraire,

nettement, dans un sens déterminé. Dans ce dernier cas, l'examen des terrains encaissants montrera si ce sont des roches cristallines ou des terrains sédimentaires et si ceux-ci restent les mêmes suivant toute la longueur de la veine métallique, avec une inclinaison conforme à la sienne : ce qui indiquerait, en général, une couche interstratifiée (ou du moins ce que l'on appelle un filon-couche), ou s'ils ont une direction indépendante de celle de la veine : ce qui correspondrait à un filon.

Ce premier point étant résolu, on s'attachera à sortir de la zone, toujours très restreinte, sur laquelle auront pu porter ces premières investigations immédiates, pour apprécier la continuité réelle du gîte à distance. Je vais envisager tour à tour les trois cas principaux : amas, filons et sédiments.

1° Supposons qu'il s'agisse d'un **amas**; ce genre de gisements se trouve :

Soit (*a*) dans des roches cristallines (magnétite, fer chromé, pyrrhotine, chalcopyrite, minerai de nickel);

Soit (*b*) dans des terrains schisteux (pyrites de fer et de cuivre);

Soit (*c*) dans des terrains primordiaux (magnétite et oligiste);

Soit (*d*) dans des calcaires (calamine, cérusite, sidérose, rhodonite), les types *b*, *c* et *d* ayant d'ailleurs une origine toute différente des premiers *a* (filonienne ou sédimentaire), mais présentant un aspect analogue aux premières recherches.

Un pareil amas est rarement isolé et, quand on en a établi les limites superficielles, on peut espérer en trouver d'autres semblables, en nombre plus ou moins grand, au voisinage.

Dans l'hypothèse *a*, il est difficile d'imprimer une direction logique aux explorations, ces amas étant disséminés au hasard dans la roche. On peut seulement remarquer que, comme l'amas est supposé incorporé dans une roche cristalline basique, dont il dérive, les études doivent seulement porter sur les parties où cette roche existe et, pour les gîtes sulfurés, c'est surtout à la périphérie de celle-ci, plutôt que dans le centre, qu'il faut chercher.

Quand le minerai en question agit sur l'aiguille aimantée, comme la magnétite ou la pyrrhotine, on peut employer un artifice ingénieux, qui est d'un usage tout à fait constant dans le nord de la Suède, où les gisements de fer magnétique sont fréquents, et où, en même temps, le manteau de tourbe ou de moraine, qui couvre tout le sol, empêche presque toujours de les voir — artifice qui pourrait être également adopté avec succès dans d'autres pays, notamment en Russie, où les conditions sont analogues.

On se sert alors du *magnétomètre de Thalen*, c'est-à-dire d'une boussole de déclinaison, qui permet, au moyen d'un aimant mobile et de repères placés sur le sol, de mesurer en chaque point la composante horizontale de l'intensité magnétique terrestre. On trace, par ce moyen, sur une carte, des courbes d'égale intensité, qui enveloppent deux foyers, correspondant : l'un au maximum, l'autre au minimum de déviation ; la droite, qui réunit ces foyers, donne l'axe du gisement profond. On se sert également d'une boussole d'inclinaison pour mesurer l'attraction de la masse métallifère magnétique et déterminer sa position approximative.

On a proposé encore d'autres systèmes pour déceler

la présence des masses métalliques non magnétiques, par exemple l'avertisseur électrique Mac Evoy. On pourrait songer aussi à mesurer les variations de la densité terrestre, par un système simple tel que celui de Mascart, qui consiste à avoir un tube barométrique courbé renfermant du mercure, d'un côté à la pression fixe d'une atmosphère, de l'autre à l'air libre, de manière que cette colonne mercurielle soit, à peu près, uniquement soumise à l'attraction terrestre; cela permettrait, si la manœuvre de l'instrument n'était aussi délicate et les causes d'erreur aussi nombreuses, d'apprécier la variation de cette attraction au voisinage d'une grande masse de minerai. Il y a, sans doute, quelque chose à faire dans cette voie pour remplacer l'antique baguette de coudrier des vieux sorciers; mais, jusqu'ici, on n'a pas encore obtenu de résultat bien pratique.

Si l'on ne peut utiliser ces procédés et si des terrains superficiels masquent le prolongement présumé d'un amas, on sera forcé d'employer de courtes tranchées ou des sondages. Il est à remarquer toutefois que, dans l'hypothèse où nous nous sommes placés de gîtes dispersés au hasard dans une roche, ces investigations coûteuses seraient généralement hors de propos, et l'on se borne, le plus souvent, à la partie apparente du gisement.

Dans l'hypothèse *b* d'amas pyriteux au milieu des schistes, on est un peu mieux dirigé; car ces sortes d'amas sont, presque toujours, plus ou moins interstratifiés dans les schistes et s'allongent, par suite, suivant leur direction, qu'il est facile de reconnaître. On en a un exemple frappant pour la grande zone pyriteuse du sud de l'Espagne, composée d'amas res-

treints et de toutes dimensions, mais de direction constante, que l'on peut suivre presque depuis l'océan Atlantique jusqu'à Séville et qui s'interstratifie si bien qu'on lui a souvent attribué une origine sédimentaire. Des explorations superficielles, ou même de petites tranchées, faites, de distance en distance, perpendiculairement à cette direction, auront donc quelques chances de rencontrer la suite de la zone métallisée, comme s'il s'agissait d'un filon à la surface; la présence de la pyrite est décelée par un chapeau de fer oxydé, qui peut s'étendre plus loin qu'elle.

L'hypothèse *c* se présente exactement dans les mêmes conditions; car ces amas de magnétite et oligiste dans les gneiss ou terrains métamorphiques, s'allongent, eux aussi, suivant la direction des gneiss, dont ils paraissent les contemporains. On pourra, dans ce cas, si le minerai est magnétique, s'aider du magnétomètre, dont on vérifiera les indications par des sondages au diamant[1], permettant de dessiner quelques coupes transversales du gisement.

Enfin les gisements (*d*) de carbonates sont, comme

1. Le prix d'un sondage au diamant varie, en Suède (où ce genre de travaux est d'un usage courant) de 35 à 50 francs par mètre courant, dans des roches cristallines dures, pour un diamètre de 35 mm. On avance d'un mètre en dix heures dans les roches dures, de 5 à 6 dans les roches plus tendres. On atteint ainsi 160 m. de profondeur. Dans des terrains plus tendres, avec les procédés de sondage Raki, on arrive à sonder 100 ou 150 mètres en 24 heures; 6 à 10 mètres sont une moyenne. Un sondage Raki de 600 mètres en terrain houillier coûte en moyenne 140 francs par mètre, non compris le combustible brûlé et le transport du matériel. Les difficultés, on le conçoit, croissent très rapidement avec la profondeur. On peut se procurer de petites sondes à main, permettant d'aller à 15 m., depuis 300 fr.; des sondes à diamants américaines, allant jusqu'à 100 m., depuis 5 000 fr. (poids total, 280 kg.). (Voir L. De Launay, *La conquête minérale*, p. 165.)

j'ai déjà eu l'occasion de le dire, le produit d'un métamorphisme superficiel, dû à l'infiltration des eaux météoriques dans des gîtes sulfureux, encaissés au milieu des calcaires. De pareils gisements ne peuvent donc se présenter que : 1° sur le passage de la veine sulfureuse métallifère, filonienne, ou sédimentaire, dont il sera parfois possible de déterminer l'allure générale, et 2° dans des calcaires, le plus souvent même dans une catégorie de calcaires particuliers qui, dans la région considérée, se trouvera être la plus propre à recevoir cette imprégnation. On peut ajouter que ces gisements s'allongent toujours suivant les cassures du calcaire, dont la direction générale peut être marquée également par des grottes ou des abîmes ouverts et qu'il est inutile d'en chercher au-dessous de la surface hydrostatique; car, là, on aurait toutes les chances de les voir passer à la forme sulfurée et se restreindre en même temps.

A part ces observations générales, il faut bien reconnaître que le hasard joue un grand rôle dans la découverte de gisements semblables, et l'histoire des mines offre nombre d'exemples de grands amas calaminaires, à côté desquels on a exploité longtemps d'autres veines plus pauvres, sans en soupçonner la présence.

Connaissant la section horizontale du ou des amas, pour avoir leur cubage, il faut connaître l'allure en profondeur de chacun d'eux. Cette allure ne pourra être sérieusement déterminée que par quelques sondages rapides au diamant. Si l'on ne peut recourir à ce moyen, il faut, tout au moins, chercher à déterminer l'inclinaison du gîte sur une certaine profondeur, à ses contacts avec la roche encaissante et, en prolongeant par un sentiment de continuité les profils trans-

versaux dressés sur ces premières observations, on obtiendra des indications qui ne représenteront d'ailleurs qu'une hypothèse extrêmement aléatoire.

On ne peut même, à cet égard, se fier en quoique ce soit à l'expérience acquise dans d'autres gisements semblables; car cette expérience montre que toutes les formes et tous les profils peuvent être rencontrés pour de tels amas : ce qui se conçoit aisément; car, outre leur irrégularité naturelle, ces boules de minerai, en les supposant même sphériques, ont pu être tranchées par le plan de la superficie à une hauteur quelconque, en sorte que, sans en savoir rien, on pourra être tout à fait en haut ou tout à fait en bas de la sphère.

2° Si nous passons maintenant aux **filons**, c'est-à-dire à des fractures à peu près rectilignes dans leur ensemble, la direction de l'une d'elles ayant été déterminée en un point, il sera généralement facile de marquer, sur le terrain ou sur une carte, la ligne idéale suivant laquelle elle devrait se prolonger et d'aller explorer celle-ci par une série de recoupes transversales, en s'aidant au besoin de tranchées, si la superficie est masquée. On reconnaîtra ainsi l'*extension superficielle du filon*, que l'on verra disparaître à ses extrémités, soit en se coinçant peu à peu, soit en s'arrêtant brusquement devant une fracture transversale : ce dernier cas laisse quelque espoir de trouver son prolongement, rejeté un peu plus loin.

La rectilignité, que je viens de supposer dans un filon, est toutefois loin d'être réalisée en pratique. D'abord, un filon quelconque, même dans une roche homogène, présente souvent une forme zigzagante ou incurvée, dont témoignent bien les plans de grands

filons, comme celui du Comstock. A plus forte raison, s'il passe à travers des terrains divers : alors, dans les terrains trop durs, la fente aura eu du mal à s'ouvrir et se rétrécira, ou même disparaîtra tout à fait; dans les terrains trop tendres, elle pourra être large, mais comblée par les détritus tombés des parois friables, et, en somme, stérile; dans les terrains schisteux, elle s'éparpillera en nombreuses veinules, ayant une tendance à l'interstratification locale, etc.

En outre, un filon constitue rarement un individu isolé; presque toujours il fait partie d'un groupe plus ou moins complexe. La forme la plus simple est celle d'un faisceau de veines parallèles; en pareil cas, souvent ce faisceau aura une continuité générale, qui n'apparaîtra pas pour chacune des veines prise individuellement : une veine se coinçant, une autre peut se substituer à elle, sans être exactement sur son prolongement. Ailleurs, avec plus de complication, on aura un réseau de fractures en divers sens, analogue à celui que l'on reproduit en tordant une glace épaisse jusqu'à la briser. Enfin, de semblables réseaux de fractures auront pu se superposer, dans une même région, à diverses époques et recevoir des remplissages tout à fait indépendants les uns des autres, qui s'enchevètrent et se rejettent mutuellement.

Si l'on ajoute à cela que, depuis la formation des filons en question, il a pu s'écouler de longues périodes géologiques, pendant lesquelles des terrains et des roches seront venus recouvrir certaines parties du filon, tandis que des failles auront parfois découpé les gisements par tronçons, on aura une idée des difficultés, auxquelles on peut se trouver exposé dans la pratique.

Les dernières, que je viens de signaler, sont de celles que la géologie permet de prévoir et de résoudre. Par exemple, si l'on reconnaît, en effet, qu'un filon, recoupant des terrains éocènes, s'arrête brusquement devant une couche miocène qui occupe le haut d'un plateau, on pourra supposer qu'il est d'âge intermédiaire entre ces deux terrains. Si, un peu plus loin, sur le prolongement de la même fracture et à l'intersection de la vallée suivante, on voit, l'éocène reparaissant sous le miocène, le filon se montrer avec lui, on pourra admettre, avec beaucoup de vraisemblance, que, sur toute la largeur du plateau, le filon se poursuit au-dessous d'un manteau superficiel de miocène.

Les *rejets par failles*, qui effarouchent les mineurs inexpérimentés et leur font croire à une perte totale de leur gîte, sont également une difficulté dont on vient assez aisément à bout par la théorie. En moyenne, quand la faille est inclinée, le mouvement naturel, dû à la gravité, a fait glisser la partie supérieure, ou *toit*, sur la partie inférieure, ou *mur*, et enfoncé, en même temps, la portion du gîte encaissée dans les terrains du toit. Dans certaines régions, on a, au contraire, en majorité, par suite d'une compression latérale, des *failles dites inverses*, ayant relevé le toit par rapport au mur : failles dont l'étude stratigraphique de la région permettra de reconnaître la cause et l'allure.

Par ces moyens, on arrivera donc à déterminer la longueur du gîte suivant son affleurement, c'est-à-dire suivant sa direction horizontale; il reste, pour le cuber, à apprécier ses deux autres dimensions géométriques, profondeur utile et épaisseur.

La *profondeur* pourra être très restreinte dans le

cas de fractures de retrait au milieu de certaines roches éruptives, de fractures éparpillées dans des terrains meubles ou schisteux, enfin de simples fissures ou diaclases d'un terrain, ayant reçu des dépôts d'origine latérale, secondaire ou superficielle. Sinon, pour des filons de fracture proprements dits, elle sera, en théorie, à peu près indéfinie; mais il reste pourtant à s'assurer qu'aucune grande faille, visible à la superficie, ne doit venir recouper le filon et le rejeter au loin, et surtout, il faut tenir compte de la profondeur maxima, à laquelle des travaux de mine peuvent descendre pratiquement et économiquement.

Cette profondeur, suivant la verticale, dépasse aujourd'hui 1400 mètres en quelques mines, comme celle de Calumet and Hekla au Lac Supérieur (cuivre) et celle de Przibram en Bohème (plomb argentifère); il est même probable qu'avec les moyens dont on dispose aujourd'hui, on atteindra assez prochainement 2000 mètres; mais, même pour un minerai riche et pouvant motiver une exploitation coûteuse, 1000 mètres est, en somme, un maximum rarement dépassé.

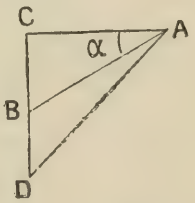


Fig. 14. — Coupe théorique montrant les variations de longueur utile d'un filon ou d'une couche, quand son inclination varie.

En laissant constante cette profondeur verticale CB (fig. 14) la longueur utile du filon suivant l'inclinaison peut être extrêmement variable avec cette inclinaison α; elle croît à mesure que l'inclinaison se réduit, une même profondeur CB comportant une longueur beaucoup plus grande sur le filon AB que sur le filon AD et, pour un filon horizontal, comme il y en a quelques-uns, elle tendrait théoriquement vers l'infini : ce qui est une des causes

de supériorité des gîtes sédimentaires sur les gîtes filoniens. Si, au contraire, la propriété du filon est, comme cela arrive souvent, limitée à un plan vertical, dont la trace est CD, plus l'inclinaison du filon sera forte, plus le propriétaire du terrain AC en aura une grande longueur, AD étant supérieur à AB.

Il y a donc un grand intérêt à apprécier cette pente du filon, qui peut, d'ailleurs, très bien varier avec la profondeur : ces cassures des roches et des terrains, qui ont constitué les filons, étant très loin de former des surfaces planes, comme on le suppose parfois.

Cette inclinaison ne pourra être déterminée avec quelque précision que par un ou plusieurs sondages, tels que CD, forés sur une ligne transversale au filon, à des distances variables du filon et poussés jusqu'à sa rencontre; à défaut de ces sondages, il faudra, tout au moins, faire, suivant l'inclinaison du filon, une courte galerie de prospection en descenderie; mais celle-ci ne pourra jamais être menée bien loin à cause des fâcheuses conditions de travail qu'elle présente (mauvais air, eaux, etc.) et auxquelles les transmissions de force électriques permettent seules un peu d'obvier.

J'arrive à l'*épaisseur du filon*. Cette épaisseur pourra être mesurée directement en divers points de l'affleurement superficiel. Des galeries de prospection, recoupant le filon, ou le suivant à une certaine profondeur, compléteront ces premières données. Mais il faut bien remarquer que la matière utile est toujours loin de remplir toute l'épaisseur de la fracture; elle y est mélangée avec des proportions variables de gangues stériles : ce qui amène à considérer l'*épaisseur réduite*, obtenue en additionnant les diverses

veines de minerai, supposées séparées idéalement de leur gangue. Cette épaisseur réduite est toujours difficile à déterminer par des mesures, en raison de l'irrégularité extrême de ces veines; mais un mineur expérimenté arrive à l'apprécier empiriquement, et, surtout, il l'évalue par la considération de la quantité de minerai au mètre carré de surface du filon, suivant son plan, quantité qui résulte aussitôt de l'épaisseur réduite et qui, elle, est susceptible d'une mesure directe en faisant abattre le filon sur un mètre carré de surface et trier, peser, au besoin analyser le minerai qu'il contient, c'est-à-dire en opérant ce que l'on appelle une *prise d'essai*, dont je donnerai plus loin le principe.

Les épaisseurs réduites, déterminées, soit suivant la direction du filon (à l'affleurement et, si possible, à des niveaux divers), soit suivant diverses galeries en inclinaison, seront susceptibles d'une représentation graphique, au moyen de laquelle on arrivera à une estimation des quantités de minerai.

Il serait absolument inexact de supposer, comme on le fait parfois, cette épaisseur constante; car l'expérience acquise dans tous les filons métallifères montre, au contraire, qu'elle varie extrêmement dans tous les sens : le minerai affectant, dans le plan du filon, l'aspect de taches irrégulières, où l'on croit reconnaître parfois des sortes de colonnes, inclinées parallèlement les unes aux autres. Ces taches de minerai, que les explorateurs croient toujours être sur le point d'atteindre quand ils traversent une zone stérile, sont ce que l'on appelle en Amérique des *bonanzas*; elles sont séparées par des rétrécissements où le minerai peut disparaître tout à fait.

La considération de l'épaisseur réduite permet souvent, non seulement d'apprécier la quantité de minerai, mais même, connaissant son prix de vente, de prévoir le bénéfice à en retirer. Car, la plupart des filons ayant une largeur inférieure à celle des galeries nécessaires pour le travail, les frais d'abattage causés par ces galeries sont constants, quelle que soit cette largeur et donnent seulement un peu plus de stérile quand la veine est plus mince. La dépense par mètre carré de surface de filon étant ainsi constante (tandis que celle par tonne de minerai est très variable), la quantité de minerai contenue dans ce mètre carré représente aussitôt le bénéfice à réaliser [1].

Si l'on veut passer de l'épaisseur réduite en millimètres au poids de minerai en kilogrammes par mètre carré, il suffit de multiplier par le poids spécifique. Je rappelle que le poids spécifique de la galène est de 7,2 à 7,7; celui de la blende, de 3,9 à 4,2; la teneur de la galène est de 86,60 0/0 de plomb; celle de la blende, de 67 0/0 de zinc.

3° J'arrive au cas d'un **gisement sédimentaire** : cas qui se présentera tout spécialement pour les combustibles minéraux et pour le fer, mais qui existe également pour les minerais les plus divers (cuivre du Mansfeld; plomb et zinc de Silésie; or du Witwatersrand, au Transvaal, etc.). Ce cas, je le répète, est, en raison de la régularité ordinaire des couches, de leur développement, de leurs conditions d'exploitation plus faciles et des prévisions plus assurées qu'on peut fonder sur l'avenir, considéré comme beaucoup plus avantageux que celui d'un amas ou d'un filon.

1. On trouvera des détails sur l'estimation d'un filon de plomb dans le *Traité des gîtes métallifères*, t. II, p. 479.

Originellement, tout sédiment utile a dû, quelle que soit son extension, présenter, en plan, une *forme lenticulaire* plus ou moins accentuée, passant latéralement, par transitions insensibles, à un terrain stérile, ou butant contre lui par une ligne de démarcation nette. En même temps, son épaisseur et souvent sa teneur allaient en s'atténuant vers les bords. Postérieurement au dépôt, cette lentille de minerai a subi tous les mouvements divers, que la géologie nous enseigne à connaître; elle a pu être redressée, plissée, froissée, renversée, coupée par des failles. Son cubage préalable nécessite donc absolument une étude stratigraphique des terrains de la région, de manière à prévoir tous les accidents, qui ont pu, tantôt faire disparaître complètement la couche sur un espace plus ou moins grand, tantôt, au contraire, la doubler localement en la repliant contre elle-même. Il s'agit, en résumé, de reconstituer une sorte de carte topographique, figurant la surface supérieure ou inférieure de la couche, en supprimant par la pensée tous les terrains qui la masquent en réalité. Si l'on arrivait à établir un semblable plan en-relief, comme on le fait souvent pratiquement dans les mines de houille, et si l'on connaissait l'épaisseur du gîte en chaque point, la détermination du cubage ne serait plus qu'une simple opération géométrique.

Pour une étude sommaire, comme celle qui nous occupe, on pourra se borner souvent à déterminer la longueur suivant laquelle l'affleurement est continu, l'épaisseur à l'affleurement et la pente suivant cet effleurement. Si la pente est celle de la ligne AB (fig. 14, page 221), l'horizontale étant AC, la figure montre aussitôt quelle est la longueur utile de la couche pour

une longueur superficielle AC, représentant : soit la largeur d'une propriété foncière, quand il s'agit d'une substance non concessible, comme la pierre de taille, le phosphate, etc. ; soit la largeur d'une concession, si la substance est concessible comme la houille, ou les minerais divers; soit encore, dans les deux cas, la portion au delà de laquelle l'examen superficiel a montré que le gisement était rejeté par une faille.

On voit combien, suivant une remarque déjà faite pour les filons, la longueur utile de la couche et, par suite, le cube de minerai augmentent avec l'inclinaison de la couche, quand celle-ci passe de AB en AD. Par contre, la profondeur à donner à un puits foré en C pour atteindre cette même couche s'accroît nécessairement et les frais de premier établissement avec elle.

Le cube de la couche métallifère ayant été déterminé avec le plus d'exactitude possible, il reste à apprécier la quantité de métal à en extraire, c'est-à-dire la *teneur* aux divers points, au moyen d'essais métallurgiques ou chimiques : tout au moins, s'il s'agit d'or, par des essais à la batée. Quand on a pu creuser, dans le plan de la couche, un traçage de galeries suffisamment long pour la découper en damiers, reconnaître son allure en tous sens et préparer des *réserves* de minerai, on établit parfois ce qu'on appelle un *plan d'essais*, susceptible d'une représentation graphique, en indiquant, sur ce plan, la teneur à chaque point du gisement [1]

1. Les prises d'essai méthodiques sont particulièrement appliquées dans les gisements d'or, en raison de la grande valeur du métal. On pourra consulter, à ce sujet, ce que M. Levat a écrit sur les placers de la Sibérie (2 vol. chez Rouveyre, ou moi-même sur les mines d'or du Transvaal (1 vol. chez Baudry).

Toute exploration première d'un gisement, si sommaire qu'elle soit, nécessite, après l'examen géologique superficiel, quelques courts travaux de mines. Ces travaux sont notamment exigés pour obtenir la concession de ce gisement : concession qui ne peut être accordée en France que si le gîte a été reconnu exploitable, sinon fructueusement, du moins pratiquement.

La nature de ces travaux préliminaires dépend beaucoup de la disposition topographique du sol et des capitaux dont on dispose. Quand le relief de la superficie le permet; quand, par exemple, un gîte à flanc de coteau est recoupé par une vallée, on explorera la couche ou le filon, soit par une ou plusieurs galeries en direction à divers niveaux, soit même par quelques travers-bancs perpendiculaires à la direction du gisement, si la longueur à donner à ces travers-bancs ne doit pas entraîner des frais trop considérables. Ces galeries sont toujours disposées de manière à assurer une pente vers leur orifice pour permettre l'évacuation des déblais et des eaux. Quand elles sont en direction dans un gîte puissant, on les fait au mur, avec des recoupes vers le toit de distance en distance.

Si l'on est forcé d'aller en profondeur, par exemple si le gîte affleure dans une plaine ou sur un coteau, on s'enfoncera, soit par une galerie inclinée suivant la ligne de plus grande pente du filon, avec des bouts de galerie en direction partant à droite et à gauche à divers niveaux de celle-ci, soit, plus coûteusement, par un puits vertical, allant recouper la veine utile à une certaine profondeur : puits à partir duquel on lancera des galeries de recherches en direction, horizontalement et en inclinaison (suivant la ligne de plus grande pente), dans le gisement.

La question des **prises d'essai**, que j'ai toujours supposée résolue jusqu'ici, très simple en théorie, demande, en pratique, beaucoup d'expérience, de circonspection et de scepticisme. Il s'agit d'apprécier la quantité de métal contenue dans une grande masse de minerai en recueillant quelques petits sacs de ce minerai, remplis de manière à avoir chance d'en représenter la moyenne et les faisant analyser. La première précaution est de choisir les points d'essai, afin que leur ensemble corresponde bien à une moyenne du gîte; il faut éviter qu'ils ne se trouvent tous sur une direction d'enrichissement ou d'appauvrissement, que la théorie aurait pu prévoir et, pour cela, les multiplier, les disséminer le plus possible. Si l'on est amené sur la mine par quelqu'un qui ait intérêt à accroître sa valeur apparente, il est bon de se défier des points qui présentent des facilités spéciales pour recueillir des échantillons, ne jamais ramasser ceux-ci sur un front de taille, qu'on aura sans doute arrêté en un point riche, mais s'en écarter au moins de quelques mètres par une amorce de galerie faite tout exprès. En un point déterminé, par exemple sur un filon, on prendra des échantillons dans toute la largeur du filon, en prenant garde à la paresse instinctive qui porte à attaquer de préférence les parties les plus tendres, toujours les plus métallisées, de préférence aux parties dures quartzeuses; ou mieux, on fera abattre tout le filon sur un mètre de long, on en broiera ensemble tous les débris, on les mélangera le mieux possible, en remarquant que le minerai, plus dense, a toujours une tendance à tomber au fond; on recueillera une portion du mélange et on l'enfermera dans un sac scellé, qu'on portera au labo-

ratoire [1]. Le résultat d'analyse connu, on pourra, presque toujours, le réduire au moins d'un bon tiers, pour tenir compte, soit des erreurs possibles, soit de ce fait qu'une exploitation industrielle abat toujours une proportion de roche stérile plus forte qu'elle ne le devrait.

D. **Variations à attendre en profondeur.** — Le problème des variations à attendre en profondeur dans un gisement est un des plus importants et des plus complexes qui puissent se poser en géologie pratique; il intéresse, au plus haut degré, l'avenir de toute exploitation; car toute appréciation préalable d'un gisement nouveau, même toute décision prise au sujet des travaux suppose une hypothèse sur la nature, la proportion et la continuité plus ou moins grande des minerais en profondeur. J'ai essayé autrefois d'exposer ailleurs [2], avec quelques détails, ce que l'on peut dire de plus net à ce sujet; je vais seulement reproduire ici les conclusions pratiques de ce travail.

Les variations, qui existent dans un gisement, ont pu se produire, soit au moment de sa formation, soit postérieurement et surtout à une époque récente.

1. Quand il s'agit, non d'apprécier un gisement que l'on possède, pour son usage personnel, mais, au contraire, d'évaluer un gisement dont l'achat est proposé, l'examen doit être fait par un ingénieur spécialiste dans des conditions toutes différentes de celles que j'envisage ici. Celui-ci aura notamment à s'assurer qu'on ne lui a pas *préparé* la mine, en laissant, sur les parois des galeries, une croûte mince de minerai, qui a l'air de se prolonger au loin, ou même, quand il s'agit d'un minerai d'or, en le *salant* avec du chlorure d'or, ou de la poudre d'or introduits frauduleusement, soit en tirant un coup de fusil sur le front de taille, soit en mettant l'or dans la dynamite employée à l'abattre, soit même en l'injectant dans les sacs scellés, avec une seringue hypodermique, etc., etc.

2. *Revue générale des sciences*, 30 avril 1900.

Les premières semblent, pour la plupart, dans la zone restreinte sur laquelle portent ordinairement nos travaux miniers, d'un caractère tout à fait accidentel et, par suite, impossibles à prévoir d'avance, ou, du moins, si complexes qu'il faudrait pour les démêler une perspicacité que l'on ne peut attendre d'un débutant. Dans cet ordre d'idées, il vaut mieux ne pas ajouter foi aux prétendues lois d'après lesquelles le cuivre est remplacé en profondeur par l'étain, le zinc par le plomb, le plomb argentifère par du plomb stérile, etc.; car les cas d'exception sont à peu près aussi nombreux que ceux où l'on vérifie la règle.

Il est, par contre, très important d'étudier l'aspect de la fracture pour voir si ce n'est pas une simple fissure locale et superficielle, destinée à se coincer très rapidement en profondeur, ou si c'est un vrai filon continu. La nature des terrains encaissants influe beaucoup sur cette allure des filons, notamment sur leur largeur; un point où le terrain encaissant doit changer est donc un point critique, sur lequel devra porter toute l'attention. Les schistes argileux sont souvent défavorables comme trop tendres et les granites comme trop durs. La rencontre d'une autre fracture transversale peut amener un enrichissement, etc.

Suivant la nature des minerais, on aura plus ou moins de chances d'avoir un filon continu. Ainsi la plupart des gîtes mercuriels, sauf celui d'Almaden et peut être un ou deux autres, sont extrêmement irréguliers, comme les fissures très minces où ils se sont toujours déposés. Des veines de quartz stannifère en stockwerk auprès d'une granulite, ou de quartz aurifère dans un trachyte seront également sujettes à se coincer et à disparaître rapidement. L'antimoine est,

presque toujours, irrégulièrement réparti dans sa gangue de quartz. Le cuivre est souvent en amas ou lentilles localisées. Le plomb, le zinc, l'argent présentent, en moyenne, des allures beaucoup plus régulières.

Mais, à côté de ces variations originelles, il faut faire une place prépondérante aux variations secondaires récentes, en relation avec la superficie actuelle et avec la circulation d'eaux infiltrées dans le sol, qui se produit au voisinage de celle-ci. Surtout pour le premier examen sommaire dont il peut être question dans ce livre, c'est, dans la presque totalité des cas, à ce genre de variations qu'on aura affaire.

Nous en avons examiné les lois dans la seconde partie du chapitre II. Il importe de ne pas les oublier toutes les fois qu'on veut se faire une opinion rationnelle sur un gisement nouveau. C'est ainsi qu'on se tromperait grossièrement en croyant voir se continuer en profondeur, avec les mêmes caractères, un gîte de cuivre gris et sidérose, de carbonates et oxydes de cuivre, de bioxyde de manganèse, de carbonate de plomb, de chlorure d'argent ou d'argent rouge, d'or natif dans du quartz, etc.

E. **Premières formalités administratives pour une recherche de mines ou une demande en concession**. — Bien que cette question de législation sorte entièrement de mon sujet, on me saura peut-être gré de donner ici quelques indications tout à fait succinctes, qui pourront permettre à un chercheur de se tirer d'embarras au début [1].

Quand, désirant entreprendre des recherches sur

1. Pour être réellement renseigné, il faudrait consulter le traité de *Législation des mines* de M. Aguillon (Béranger, 2e édition, 2 vol in-8).

un gisement minéral, on veut se mettre en règle avec la loi française, il faut d'abord savoir dans quelle catégorie cette loi a rangé le gisement en question. Il existe, en effet, dans notre régime minier, une distinction quelque peu incohérente entre les mines, minières et carrières, les mines étant *res nullius*, c'est-à-dire n'appartenant à personne jusqu'au moment où l'État les concède, tandis que les minières et carrières appartiennent au propriétaire du sol. En principe, on a voulu ainsi ne retirer au propriétaire du sol que les substances d'un intérêt général, par suite de leur rareté relative et de leur importance économique, telles que les métaux et les combustibles. Mais, dans l'application, c'est l'arbitraire le plus absolu, qui déclare concessibles l'asphalte, le bitume, la plombagine, le soufre, le sel gemme, tandis que le phosphate de chaux, la baryte ou la strontiane sulfatée, les borates, nitrates, etc., les ocres et sanguines, les ardoises, kaolins, marbres, pierres à plâtre sont considérés comme non concessibles.

Les minières, classe intermédiaire entre les mines et les carrières, comprennent exclusivement « les minerais de fer dits d'alluvion, les terres pyriteuses propres à être converties en sulfate de fer, les terres alumineuses et les tourbes ».

L'intervention administrative ne prend une importance réelle que pour les mines. Dans ce cas, les recherches premières peuvent être faites, soit avec l'autorisation du propriétaire du sol, et conformément au régime ordinaire des contrats, soit, même sans cette autorisation, en vertu d'une permission du gouvernement.

Ces premiers travaux de reconnaissance doivent

être poussés très loin avant que la concession puisse être accordée, et il serait inutile de demander cette concession, si l'on n'avait pas amplement démontré l'exploitabilité pratique du gisement. Ils peuvent donc devenir très gênants pour le propriétaire du sol, qui n'est cependant pas en droit de les empêcher, si l'État les a permis, mais a droit à une indemnité pour les dégâts. (Je suppose, bien entendu, que l'on ne soit pas dans le périmètre d'une concession antérieure.)

Pour obtenir un tel *permis de recherches* sans l'assentiment du propriétaire, l'explorateur adresse au préfet une demande détaillée sur papier timbré, accompagnée d'un plan. Le dossier est communiqué au propriétaire, puis au service des mines, qui examine si les recherches sont rationnelles, et le permis est, s'il y a lieu, accordé par décret, toujours pour une courte durée, un ou deux ans au plus. L'indemnité doit être payée au propriétaire avant tous travaux : elle est réglée par les tribunaux et représente, en principe, le double du préjudice causé. Le chercheur, qu'il agisse ou non avec l'assentiment du propriétaire, n'a pas le droit de vendre ou d'utiliser les produits de ses recherches sans une autorisation spéciale, jusqu'au moment où la concession a été instituée à son profit.

La *demande en concession*, qui est réglée définitivement par un acte délibéré en Conseil d'État, entraîne des formalités nombreuses, des délais très prolongés (souvent de plusieurs années) et de grosses dépenses. L'administration montrant aujourd'hui quelque sévérité pour accorder ces demandes, il est prudent de ne pas s'engager dans cette procédure avant d'avoir poussé la reconnaissance du gîte aussi loin que possible. On ne doit pas oublier non plus que, d'après

la loi française, ni l'inventeur du gisement ni le propriétaire du sol n'ont un *droit* à l'obtention de la concession; l'État reste, en principe, absolument libre de l'accorder à qui il lui plaît en vue de l'intérêt public; en pratique, il cherche pourtant, cela se conçoit, à récompenser l'effort couronné de succès de celui qui a montré l'exploitabilité de la substance, tout au moins en lui allouant une forte indemnité s'il y a un avantage général à ce que la concession revienne à un autre demandeur [1].

Celui qui veut demander une concession doit faire, à la préfecture, une demande sur papier timbré, indiquant ses nom, prénoms, qualités et domicile, la nature de la substance, les limites du périmètre sollicité et son étendue (qui varie pratiquement dans les plus larges proportions), l'indemnité offerte aux propriétaires du terrain à titre de redevance minière, etc. Cette première étape une fois franchie, il trouvera, à la préfecture même ou auprès du service des mines, les renseignements voulus sur la marche à suivre, que je ne puis songer à développer ici. Ces renseignements sont détaillés et commentés dans les traités de législation minière, notamment dans celui de M. Aguillon, auquel j'ai renvoyé plus haut.

Une tierce personne peut introduire, pendant l'enquête, une opposition ou une demande en concurrence.

F. Étude des principales substances minérales utiles. Mode de gisement, qualités et

1. Un projet de loi actuel, plus séduisant au premier abord qu'après examen sérieux, voudrait mettre les concessions nouvelles en adjudication. Du moins faudrait-il restreindre l'adjudication au cas, qui peut se présenter parfois, où il n'y a pas eu invention réelle.

défauts à apprécier. — Matières premières des briques, tuiles, grès, faïences, porcelaines, verres, émaux, chaux, mortiers, ciments; Pierres de taille; Pierres lithographiques; Marbres; Pierres à plâtre; Ardoises; Phosphates; Asphaltes et bitumes; Sels gemmes; Combustibles minéraux; Métaux, fer, cuivre, plomb, zinc, etc. — Je donnerai, dans ce paragraphe, quelques brèves indications sur les conditions de gisement, où l'on rencontre certaines matières premières d'un usage courant et sur les qualités que doivent présenter ces matières pour être utilisables [1].

Les **briques et tuiles** se font souvent avec ce que l'on appelle la *terre franche*, ou terre végétale, quand cette terre est formée d'une argile suffisamment sableuse, c'est-à-dire ne contient pas plus de 25 à 30 0/0 d'argile pour les briques, 30 à 40 0/0 pour les tuiles. Mais cette couche de terre superficielle s'épuise très vite et, quand on veut installer une usine fixe, il faut recourir à des bancs d'argile continus, intercalés dans les terrains sédimentaires, tels que les bancs d'argile plastique, et ajouter artificiellement à l'argile la proportion de sable convenable.

Ces argiles peuvent contenir diverses impuretés, plus ou moins gênantes. Ainsi des fragments calcaires produiront de la chaux, qui désagrégera la brique; la pyrite et l'oxyde de fer, en fondant par la cuisson, laissent des trous noirs ; le silex n'a d'autre inconvénient que de faire des taches blanches. Le mica fin peut être, au contraire, avantageux, en intervenant

1. Pour tous les détails, je ne puis que renvoyer à mon *Traité des gîtes minéraux et métallifères* (Baudry, 2 vol., 1893).

comme fondant par la potasse qu'il contient : c'est ainsi que la fabrication des **grès cérames** utilisera généralement des argiles micacées à 2 ou 4 0/0 de potasse (Rambervilliers, dans les Vosges ; Saint-Amand, dans la Nièvre), à moins que l'on n'incorpore un fondant calcaire dans une argile quelconque (silice : 55; alumine : 22; chaux : 25), ce qui donne des pièces plus difficiles à cuire.

Pour fabriquer briques ou tuiles, on fait d'abord un malaxage de la pâte ; puis on moule : soit à la main, dans des moules en bois saupoudrés de sable ; soit, à la mécanique, dans des moules en métal. Enfin l'on cuit à 1000°. Pour les grès, on cuit les mêmes argiles à 1200 ou 1300°, de manière à avoir une pâte fondue.

Pour les **produits réfractaires**, on emploie des argiles pures, exemptes de fer, de calcaire, et surtout de minéraux potassiques, tels que le mica. Le fer se reconnaît aisément à la coloration de la pâte, le calcaire à son effervescence aux acides ; la potasse n'est caractérisée que par un essai de cuisson. Dans les constructions métallurgiques, il y a intérêt à choisir les argiles les moins riches en quartz, par exemple des bauxites blanches non ferrifères.

Les **faïences** sont formées d'une pâte non vernissée, analogue à celle des briques et tuiles, sur laquelle est appliquée une couverte opaque, telle qu'un silicate de plomb, opacifié par du bioxyde d'étain (faïence stannifère) ; on cuit souvent en trois fois : d'abord à 1250° ; puis, après décoration, à 400°, afin de brûler les matières organiques incorporées à la couleur ; on ajoute la couverte et on recuit à 1000° [1].

1. On recouvre parfois d'émaux transparents des vases de terre commune : c'est ce qu'on appelle *l'engobage*.

Pour obtenir l'adhérence de l'émail sur la terre, il est indispensable d'avoir, dans la pâte des faïences stannifères, environ 15 à 30 0/0 de chaux. Cette chaux augmente le coefficient de dilatation de la pâte, mais diminue sa résistance aux variations de température. Une bonne pâte de faïence contient, en moyenne, des proportions égales d'argile, de sable et de calcaire.

Pour les faïences fines, il faut une argile blanche, faite par exemple de : argile pure, 40 à 20; kaolin, 25 à 30; silex, 25 à 40; pegmatite, 10 à 12, ou, plus simplement, d'argile et sable de Decize (quartz, kaolin, feldspath), qu'on cuit à une température assez élevée pour se débarrasser du fer, en le faisant entrer en combinaison; les couvertes sont souvent plombeuses et barytiques, parfois boriquées; par exemple, on fond le mélange : minium, 52; bioxyde de manganèse, 7; poudre de brique, 41.

Dans la décoration, on obtient le bleu avec du cobalt, le violet avec du manganèse, le rouge avec de l'étain et l'on évite la diffusion des couleurs en ajoutant de l'alumine.

Les pâtes de **porcelaines** sont faites avec un mélange tel que le suivant :

PORCELAINES	KAOLIN	FELD-SPATH	QUARTZ	CARBONATE DE CHAUX
Porcelaine courante...	60	16	17	7
Porcelaine de Chine..	35	41	24	0
Porcelaine du Japon..	42	27	31	0

Le kaolin, le feldspath et le quartz peuvent venir des mêmes roches granitiques; le carbonate de chaux

doit être de la craie très pure, telle que la craie de Bougival, dont la composition est : carbonate de chaux, 96; silice, 0,8; carbonate de magnésie, 1; eau, 2,2.

On cuit d'abord au dégourdi à 950°; on applique une couverte transparente et on recuit à une température de 1250 à 1400°, qui doit être très exactement déterminée, à 25° près, suivant la nature des pâtes.

Les **verres** sont à base de silice, bien qu'on utilise également, pour l'émaillage des métaux et la couverture des poteries, des verres boriqués, très fusibles, très durs et dont on fait varier aisément le coefficient de dilatation, mais qui ont l'inconvénient de s'altérer à l'eau.

Un verre se fabrique, par exemple, avec 100 de sable, 35 de carbonate de soude, 33 de carbonate de chaux; pour obtenir un verre très blanc, il faut éviter la présence du fer, ce qui donne une valeur spéciale au sable très blanc et très fin de Fontainebleau. Un sable ferrugineux perd aussitôt toute valeur.

On a fabriqué aussi, à Saint-Gobain, des glaces avec un mélange barytique (silice, 46,5; baryte, 39,2; chaux, 14,3). Ce mélange est très fusible et ne se dévitrifie pas.

La baryte est une substance très commune dans le Plateau Central, où elle se présente en nombreux filons; elle a diverses autres petites applications (papier, etc.).

Les **émaux** sur fer sont formés d'une couche fusible, comprenant sable, minium, soude et acide borique, ou silex, borax, argile, sur laquelle on applique une couche opaque, formée de porcelaine broyée dans le mélange précédent. L'émail sur verre comporte de la

cryolite, ou du borax et du nitre. On colore en noir par le manganèse, en turquoise par le cuivre, en jaune par l'urane, etc.

La **chaux** s'obtient par la calcination du calcaire, ou carbonate de chaux [1], qui, pour former de la chaux grasse, ne doit pas contenir plus de 5 0/0 d'argile; de 5 à 12 0/0 d'argile, on aurait une chaux maigre, donnant une pâte sans liant et sans onctuosité. Avec la chaux grasse, du sable et de l'eau (150 à 200 kilogr. d'hydrate de chaux pour un mètre cube de sable), on fait un mortier de chaux grasse.

Les calcaires, contenant plus de 12 0/0 d'argile, peuvent servir à la fabrication des chaux hydrauliques (12 à 20 0/0 d'argile), des ciments portland à prise lente (20 à 25 0/0 d'argile), ou des ciments hydrauliques à prise rapide (plus de 40 0/0 d'argile).

Les conditions nécessaires à la fabrication d'une **chaux hydraulique** sont assez facilement réalisées, pourvu que la proportion d'argile initiale soit convenable. Pour les **ciments artificiels à prise lente**, il faut surtout que le calcaire ne soit pas magnésien (moins de 4 0/0 de dolomie); mais la fabrication de ces ciments nécessite toute une installation d'usine. A Boulogne, on se sert de marnes calcaires intercalées dans le terrain crétacé; près de Paris, d'argile plastique mêlée avec de la chaux; à la Grande-Chartreuse, de calcaire noir bitumineux, riche en argile. Quant à la fabrication des **ciments hydrauliques à prise rapide**, elle s'obtient par la cuisson à une température très basse, juste suffisante pour décarbonater la chaux, de calcaires très alumineux, contenant du sulfate de

1. La teneur en chaux du carbonate de chaux pur (calcite) est de 56 0/0.

chaux, qu'on rencontre en France seulement, près de Vassy, dans l'Yonne et à la Porte de France, dans l'Isère. Leur composition est :

CIMENTS HYDRAULIQUES	SILICE	ALUMINE	OXYDE DE FER	CHAUX ET MAGNÉSIE	SULFATE DE CHAUX	EAU ET ACIDE CARBONIQUE
Vassy....	20	8	6	53	3	10
Porte de France..	22	11	6	55	4	2

Les **pierres de taille**, dont il a déjà été question au chapitre IV [1], peuvent être de nature géologique très diverse : granite, lave, grès, surtout calcaire, etc. Bien que des circonstances tout à fait locales et difficiles à prévoir puissent influer notablement sur la valeur de la pierre, en modifiant sa compacité, sa gélivité, son homogénéité, sa fissuration, etc., il y aura toujours grand intérêt, pour le carrier, à savoir comment se présente le banc qu'il utilise, afin d'en retrouver le prolongement le jour où sa première exploitation se trouvera épuisée. Combien de fois, en effet, ne suffit-il pas d'une fouille très simple, enlevant un manteau de terrain superficiel, pour faire apparaître une couche utilisable, dont les gens du pays ne soupçonnaient pas la présence, et fournir en abondance une substance qu'on allait auparavant chercher au loin! L'usage des coupes géologiques, dans leur acception la plus élémentaire, est tout indiqué, s'il s'agit, comme c'est le cas ordinaire, d'une couche stratifiée.

1. Page 102.

Les principales qualités qui définissent une pierre de taille sont la densité, la dureté, la résistance à l'écrasement et la grandeur moyenne des blocs que l'on peut débiter.

Le poids au mètre cube varie entre 1 400 et 2 800 kilogrammes; la résistance à l'écrasement est à peu près proportionnelle; une pierre dure, pesant 2500, porte, sans s'écraser, jusqu'à 1200 kilogrammes au mètre carré, tandis qu'une pierre tendre, pesant 1800, résistera à peine à 180 kilogrammes. On apprécie cette résistance en comprimant un cube de dimensions déterminées à la presse hydraulique. La détermination de la gélivité est surtout une question de pratique; on peut la préjuger approximativement en plongeant la pierre un certain nombre de fois, pendant une demi-heure, dans une dissolution bouillante et sursaturée de sulfate de soude et appréciant la perte de poids produite par l'éclatement résultant de la cristallisation. Enfin l'on fait un essai à la scie, soit à la scie à dents, soit à la scie sans dents avec de l'eau et du grès.

Certains calcaires présentent une compacité spéciale et une finesse de grain, qui semblent les rendre propres à fournir des **pierres lithographiques.** Il ne faut pas se faire d'illusions à cet égard; les pierres lithographiques sont une des substances que l'on croit le plus fréquemment rencontrer et qui, en réalité, sont les plus rares sous une forme réellement et fructueusement utilisable. Une pierre lithographique ne prend, en effet, de valeur que lorsqu'elle atteint de grandes dimensions : les petites pierres étant fournies en abondance par l'éclatement des grandes. Or, dans les terrains métamorphiques, qui

présentent des calcaires à structure lithographique, les fissures visibles ou cachées sont, presque toujours, si abondantes, qu'on a du mal à obtenir des pierres un peu grandes. On peut s'assurer qu'une pierre déjà polie ne présente pas de fissure invisible en l'humectant avec l'haleine. S'il y a une semblable fissure, la buée, en se rétrécissant, s'allonge suivant sa longueur.

Il faut, en outre, que la pierre présente toute une série de qualités difficiles à réunir : une composition telle qu'il y ait environ 2 à 3 0/0 de silice et autant d'argile, une homogénéité absolue, un poli n'excluant pas quelque porosité, un commencement de cristallinité pas trop sensible, etc.

Enfin, une variété de calcaires spéciale et susceptible d'un beau poli constitue les **marbres**. Ceux-ci prennent, suivant leur couleur, leur cristallinité, etc., une valeur très différente, qui peut devenir considérable pour les beaux marbres blancs, suffisamment cristallins, exempts de toutes taches et fournissant de grands blocs propres à la statuaire. Les marbres se trouvent généralement dans des terrains métamorphiques, ayant subi, depuis leur dépôt, des mouvements de dislocation notables, et souvent il en résulte, pour leur stratification, une allure un peu troublée, par exemple une disposition en amas ou en lentilles. L'**albâtre oriental** est également une variété translucide de carbonate de chaux, produite par le métamorphisme. Un autre albâtre est une variété très pure de plâtre, ne contenant que 2 0/0 de calcaire et d'argile et servant pour la fabrication des plâtres alunés.

Les **pierres à plâtre** sont du sulfate de chaux hydraté, ou gypse, qui existe dans divers étages géologiques, notamment, en France, dans le trias et dans

le tertiaire. Les propriétés du plâtre tiennent à ce qu'il devient pulvérulent et farineux quand on lui a retiré son eau par la calcination et acquiert, au contraire, une grande dureté, quand on lui a rendu son hydratation en le gâchant avec de l'eau et qu'on l'a laissé sécher. Des plâtres de mauvaise qualité servent, en outre, en agriculture[1].

La valeur du plâtre varie beaucoup avec la nature du gypse employé, notamment avec la proportion de carbonate de chaux qu'il renferme ordinairement et aussi avec le mode de cuisson plus ou moins parfait qui a été adopté. Cette valeur s'apprécie, en particulier, par la blancheur, la finesse du produit dépendant du degré de tamisage et la rapidité plus ou moins grande avec laquelle il fait prise, quand on le mélange à l'eau. Le plâtre cuit en tas fait prise en 16 minutes; par la cuisson en fours à alandiers, on obtient du plâtre anhydre, qui fait prise en 4 minutes. Le plâtre durci résiste à l'écrasement à 250 kilogrammes par centimètre carré.

Les **ardoises** sont des schistes argileux très fissiles, qu'on emploie, en raison de leur inaltérabilité à l'air et à l'humidité, pour la couverture des édifices. La qualité d'une ardoise peut être très variable. Celle qui contient de la pyrite s'altère et se perce par l'oxydation de ce sulfure; celle, dont la masse est poreuse, s'imprègne de l'eau des pluies, et la moindre gelée suffit pour la briser; elle a de plus l'inconvénient d'être perméable. Une bonne ardoise doit être dure, sonore, pesante, avoir une surface lisse, une structure homogène et serrée, une couleur foncée. Si l'on plonge

1. Voir page 127.

l'ardoise verticalement dans de l'eau jusqu'au tiers de sa hauteur, on peut apprécier sa porosité en voyant de combien l'eau s'est élevée au bout de vingt-quatre heures; quand la partie supérieure est humide, l'ardoise doit être rejetée.

Une exploitation d'ardoises tire une partie de ses bénéfices de la vente des grandes ardoises pour carrelages, revêtements, tables de billard, etc., lorsqu'elle peut arriver à en produire.

Les **phosphates** se présentent sous trois formes principales : 1° apatite entièrement cristallisée, inassimilable à l'état naturel et nécessitant une transformation en superphosphates; 2° phosphorite cristalline et concrétionnée, ordinairement mélangée de quartz et passant à des terres phosphatées; 3° phosphates sédimentaires (nodules, craies phosphatées, sables phosphatés).

L'apatite entre dans la composition de certaines roches cristallines, où elle forme des cristaux plus ou moins volumineux; on la trouve : en Norvège, avec de l'amphibole, de l'enstatite et du mica noir; au Canada, dans des pyroxénites associées à des cipolins; en Espagne (au cap de Gate), dans des trachytes : elle n'est, nulle part, exploitable en France et ne joue qu'un rôle très restreint dans l'industrie des phosphates.

La phosphorite a constitué de grands amas dans la région du Quercy (Lot, Tarn-et-Garonne et Lot-et-Garonne). Ce sont des remplissages de grottes et d'abîmes naturels, de formes extrêmement variées, au milieu des plateaux jurassiques qui constituent les Causses : cette phosphorite ressemble souvent à des silex ou à des agates, mais se raye à l'acier. Sa teneur

très forte en phosphate tribasique est souvent de 60 à 80 0/0.

Tandis que les apatites et phosphorites représentent des accidents irréguliers au milieu des terrains, les phosphates sédimentaires, soit en grains très fins comme dans les craies phosphatées, soit en agglomérations plus volumineuses comme dans les nodules, affectent une allure assez régulière et une constance relative de teneur sur une étendue parfois notable d'une même couche, généralement dans des formations littorales. Quelques niveaux géologiques, comme les sables verts et argiles de la base du crétacé (albien) en France, le sénonien dans le nord de la France et la Belgique, l'éocène en Tunisie, etc., offrent des dépôts phosphatés très étendus : ce qui peut conduire à rechercher le phosphate par l'analyse, dès qu'on voit reparaître le niveau où il est habituellement contenu ; cela n'empêche pas que, dans ces niveaux mêmes, la teneur ne soit très variable d'un point à l'autre et ne descende souvent au-dessous des limites d'exploitabilité.

Parmi les phosphates français, je signalerai, comme particulièrement typiques, ceux de l'Auxois, du Boulonnais, de la Somme et de la Tunisie.

Dans l'Auxois, près d'Avallon, on trouve, aux affleurements du calcaire à gryphées (lias inférieur), des nodules concrétionnés de phosphates à 60 0/0 de phosphate [1], souvent associés avec des oolithes ferrugineuses, auxquelles ils passent par transitions insensibles.

Dans le Boulonnais, près de Marquise, on exploite, à

1. On passe de la teneur en phosphate à la teneur en acide phosphorique en mutipliant par 0,458.

la base d'un lit d'argile (albien) et au-dessus de sables verts aquifères, un banc de nodules phosphatés empâtés dans de l'argile, dont l'épaisseur ne dépasse pas 15 centimètres. Ces nodules, d'un gris verdâtre, gros en moyenne comme des noix, contiennent beaucoup de débris fossiles.

Dans tout le nord de la France et la Belgique, il existe, à divers niveaux du sénonien (crétacé supérieur), des craies phosphatées ou craies brunes, dont la teneur brute en phosphate ne dépasse guère 23 à 25 0/0. Par endroits, cette craie a subi une concentration naturelle sous forme de sables phosphatés, rassemblés dans de grandes poches irrégulièrement disséminées et arrivant à tenir 78 0/0 de phosphate (36 0/0 d'acide phosphorique). Ces sables phosphatés ont été d'abord remarqués pour la patine violette qu'ils donnaient aux briques par la cuisson ; ils ont fait la fortune des environs de Beauval dans la Somme, Orville (Pas-de-Calais), Hardivillers (Oise), etc.

En Algérie, les phosphates du Dyr, près de Tébessa, ont particulièrement attiré l'attention depuis quelques années ; on y trouve, dans le suessonien, une couche régulière de phosphates de 3 mètres d'épaisseur, d'aspect grisâtre et gréso-sableuse, dont les 2 mètres inférieurs tiennent jusqu'à 70 0/0 de phosphate : couche qui affleure sur toute la périphérie d'un plateau.

En Tunisie, le niveau phosphaté est également à la base de l'éocène et au contact du crétacé, soit sous forme de nodules dans les marnes peu riches (frontière algérienne), soit sous forme de calcaires phosphatés (Gafsa, etc.), analogues à ceux de Tébessa [1].

1. L. De Launay, *Les richesses minérales de l'Afrique*, 1903.

La puissance du niveau, où l'on trouve les phosphates, atteint 80 mètres près de Gafsa, où il affleure sur 60 kilomètres de long. La teneur en acide phosphorique est, dans les parties riches, de 25 à 26 (56 0/0 de phosphate tricalcique). Les phosphates en bancs de Gafsa sont grenus, de couleur généralement grisâtre, allant parfois jusqu'au brun verdâtre.

Les **nitrates**, que leur mode d'utilisation comme engrais minéraux rapproche logiquement des phosphates, ne se rencontrent nulle part en France et viennent, presque exclusivement, de la région désertique du Chili, où ils sont associés à du sel gemme et à de la glaubérite (sulfate double de soude et de chaux) dans de petits bassins d'évaporation, souvent recouverts de gravier avec efflorescences salpêtrées. La seule région française où il pourrait s'en présenter un gisement est le sud de l'Algérie.

Les **asphaltes** sont des imprégnations naturelles d'hydrocarbures dans des calcaires; des imprégnations analogues dans des schistes donnent des schistes bitumineux, dont la distillation fournit une huile minérale comparable au pétrole; dans les sables, on a des sables bitumineux, qui sont à peu près sans emploi, mais dont la présence a parfois servi d'indice pour aller chercher en profondeur du pétrole par des sondages.

L'asphalte peut tenir 17 à 20 0/0 de bitume; son usage est fondé sur ce que, réduit en poudre et comprimé à 100°, il se moule en une substance très dure et très résistante; on emploie aussi le mastic asphaltique, obtenu en fondant de l'asphalte avec 10 0/0 de bitume libre. Un calcaire asphaltique de bonne qualité doit être très homogène et présenter une imprégna-

tion bitumineuse régulière, sans excès local de bitume, donnant des gouttes noires liquides et sans rognons inattaqués formant des taches blanches; il est à grain fin, d'une couleur chocolat foncé et doit s'écraser entre les doigts à 60°. Les principaux gisements français d'asphalte sont ceux de Seyssel, dans l'Ain; on en produit aussi en Auvergne et un peu dans le Gard.

L'imprégnation asphaltique est toujours localisée en amas dans le calcaire qui la présente.

Les **schistes bitumineux** sont exploités en France, dans l'Allier, à Buxière et, en Saône-et-Loire, près d'Autun. Contrairement à la remarque précédente sur les asphaltes, ils forment des couches continues qu'on retrouve partout, dans une région déterminée, au même niveau.

Le rendement en huile varie de 5 à 7 0/0 en volume (Allier) à 8 ou 9 0/0 (Autunois).

Les schistes bitumineux se reconnaissent aussitôt à l'odeur spéciale qu'ils dégagent, quand on les casse; ils sont d'un noir plus ou moins brunâtre et renferment souvent des écailles de poisson, formant de petites taches brillantes.

Les **sels gemmes** sont localisés en France, et généralement en Europe, dans deux étages principaux, l'un permo-triasique, l'autre tertiaire, où ils forment des couches lenticulaires, souvent très volumineuses et très épaisses, au milieu de terrains argileux, parfois avec accompagnement de gypse. Leur présence est souvent décelée par l'existence de sources salées naturelles; des eaux salées artificielles servent également à les exploiter par dissolution.

Dans tout l'est de la France (Lorraine, Franche-Comté), où sont nos principaux gisements salins, on

connaît bien aujourd'hui les niveaux géologiques où l'on peut espérer trouver le sel et on les recherche par sondages ou puits là où l'on voit apparaître, à la surface, le terrain immédiatement supérieur qui les recouvre ordinairement.

Aux affleurements, le sel a souvent disparu par dissolution et sa place peut être marquée par des effondrements du terrain, des dépressions, dans lesquelles se sont souvent constitués des étangs.

Dans le sud de l'Algérie, il existe également de grands dépôts salins en amas isolés, que l'on rattache ordinairement au trias, et des lacs salés (chotts et sebkas).

Contrairement à une idée très répandue, les **combustibles minéraux** ne se trouvent pas uniquement dans un terrain déterminé, dit carbonifère, mais peuvent se présenter dans les étages les plus divers, depuis la fin du dévonien jusqu'au quaternaire [1] et

1. On exploite, entre autres, du charbon dans le permien de l'Inde, du Transvaal, de la Nouvelle Galles du Sud; dans le lias supérieur d'Anina Steierdof (Banat). Le rhétien en renferme près de Bayreuth et au sud de la Bohême; le toarcien contient du lignite et du jais à Whitby en Angleterre. Les charbons de Nossi-Bé, à Madagascar, sont du lias supérieur, comme ceux du nord de la Perse. En Asie, les dépôts charbonneux sont nombreux à la base du jurassique, dans le sud de la Sibérie, à l'embouchure de l'Amour, en Chine, au nord de Tachkend, au Tonkin. A Scarborough, on exploite du jais (lignite) dans le médio-jurassique. L'infracrétacé renferme des dépôts importants de houille dans l'ouest de l'Amérique (Montana, Vancouver, îles Charlotte). Le supra-crétacé comprend le bassin de Fuveau (Bouches-du-Rhône), les charbons de la province de Nelson (Nouvelle-Zélande) et de Nouméa (Nouvelle-Calédonie), les lignites du groupe de Benton et du groupe de Laramie (ou Lignitic groupe) dans les Montagnes Rocheuses, probablement ceux de Santa-Fe de Bogota et du sud du Brésil. A l'éocène se rattachent les lignites du Soissonnais; à l'oligocène, ceux

peut-être même les niveaux graphiteux, qui existent jusque dans les couches cristallophylliennes réputées primitives, les schistes bitumineux, qu'on observe notamment dans le cambrien et le silurien de Russie, dans le dévonien de l'État de New-York, etc. marquent-ils la trace de dépôts hydrocarburés antérieurs. Cependant, la plupart des charbons minéraux s'exploitent, dans nos pays, soit dans la partie inférieure et marine du carbonifère, appelée autrefois anthracifère à cause de ses couches d'anthracite (dinantien actuel), soit dans sa partie supérieure, où domine la houille proprement dite (westphalien et stéphanien).

Il n'est pas vrai, non plus, d'une façon absolue, que la nature du combustible puisse faire préjuger son âge, par suite d'une sorte d'évolution progressive, constamment et partout la même, ni, inversement, qu'à un âge déterminé corresponde toujours la même nature de charbon. Ainsi l'on retrouve, en Pensylvanie et dans les Alpes, de l'anthracite à la partie supérieure du carbonifère, là où, ordinairement, il existe de la houille; le rhétien du Tonkin, le crétacé de Provence renferment des charbons très voisins des houilles, à des niveaux ordinairement caractérisés par des lignites. Néanmoins, on peut retenir qu'en moyenne, plus un combustible est ancien, plus il s'est éloigné de la cellulose primitive, aux dépens de laquelle il s'est constitué, par une fermentation plus

de l'Allemagne du Nord et les couches à ambre de la Baltique, ceux de la Carniole et de la Styrie; au pliocène, ceux de la Tour-du-Pin et de Gandino en Lombardie, etc. On exploite encore des charbons tertiaires dans le Chili, dans le Venezuela (miocène supérieur), à la Trinidad, etc. — Voir des listes dans Zincken, *Die Physiographie der Braunkohle*, Hannover, 1867.

active et plus complète; plus, dès lors, il se rapproche d'un carbone pur, en perdant ses éléments hydrogénés et oxygénés. En moyenne, quand on remonte l'échelle des terrains géologiques, on voit les combustibles se substituer les uns aux autres dans l'ordre suivant : tourbe, à 60 0/0 de carbone; lignite, entre 55 et 75 0/0 de carbone; houille, entre 75 et 90 0/0 de carbone; anthracite, entre 87 et 94 0/0 de carbone.

Dans la région de la France et des pays voisins qui nous intéresse spécialement ici, les combustibles utilisés se rattachent, pour la plupart, comme je l'ai dit déjà, aux divers niveaux de l'étage, appelé pour cela carbonifère, et correspondent à une époque marquée par le grand développement de la végétation, qui, en accumulant ses débris dans les eaux des lacs et des mers, a produit la houille. En outre, les terrains permiens de l'Allier et de l'Autunois renferment également des charbons; le keuper (trias) de Gouhenans, dans la Haute-Saône, présente de la houille avec du sel. On retrouve des lignites exploitables et très voisins des houilles dans le bassin de Fuveau, au nord de Marseille (supracrétacé), et il en existe aussi des couches, sans valeur pratique, dans le bassin tertiaire de Paris (éocène).

Quand on sort de France pour étudier nos colonies, on trouve, en Algérie, quelques lambeaux de lignite sans valeur ; un peu de charbon de valeur industrielle encore très problématique dans le permien de Madagascar et dans le crétacé des environs de Nouméa, en Nouvelle-Calédonie. Notre colonie du Tonkin est, au contraire, bien dotée de bassins houillers appartenant au rhétien et exploités à Hongay et à Kebao.

Ceux qui seraient tentés de chercher de la houille en France doivent, en pratique, négliger les exceptions précédentes, si nombreuses qu'elles soient et s'attaquer de préférence au carbonifère, soit qu'il affleure à la surface, soit que son existence puisse être présumée en profondeur. Les études géologiques sont assez avancées dans notre pays pour qu'on puisse être sûr que tous les lambeaux carbonifères apparents de quelque importance y ont été signalés, et on courrait grand risque de perdre son temps en prenant pour du charbon des terrains plus ou moins noirs, graphiteux ou manganésés, appartenant à quelque étage primaire.

Les seules chances réelles de faire une découverte dans cet ordre d'idées consistent donc, soit à rencontrer de la houille dans une portion du terrain carbonifère connu, mais considérée jusqu'ici comme stérile, soit à retrouver le houiller en profondeur par des sondages profonds, sous des terrains qui le masquent à la superficie : terrains généralement plus récents d'après les lois ordinaires de la stratigraphie, mais quelquefois aussi plus anciens, par suite d'un renversement des couches, qui existe notamment sur toute la bordure ouest de notre grand bassin carbonifère du Nord, avec une extension encore ignorée. Des trouvailles récentes montrent bien que, dans cette voie spéciale, il reste encore de l'espoir pour l'avenir, et l'on découvrira encore certainement plus d'une couche de houille en France; mais c'est là, désormais, il faut bien le dire, l'objet de travaux importants et de longue haleine, qui n'ont aucune chance de réussir s'ils sont entrepris avec des capitaux restreints et sans le concours d'une longue expérience technique. Il est donc inutile d'insister ici sur cette question.

La houille et les autres combustibles minéraux étant des substances interstratifiées, toute recherche qui les vise doit être fondée sur une étude stratigraphique minutieuse. Les plissements de terrains et les failles, qui ont presque partout affecté les terrains carbonifères depuis leur dépôt, exigeront des investigations dont il est inutile de signaler l'importance bien évidente. Dans ces dernières années, on a même utilisé, avec succès, pour rechercher la houille, les méthodes les plus délicates de la géologie : ainsi les lois tectoniques, qui régissent les chaînes de plissement et leurs renversements, pour prévoir la présence à grande profondeur d'un sillon houiller sous ce que l'on appelle les *morts-terrains* stériles plus récents, ou encore les conclusions de la paléontologie végétale sur l'ordre de succession et l'évolution des plantes fossiles, qui accompagnent ordinairement le charbon.

Quand ils affleurent à la surface, les combustibles attirent immédiatement l'attention par leur couleur noire, et leur combustibilité permet aussitôt de s'assurer qu'on n'a pas commis d'erreur dans leur détermination. Sur ces affleurements, ils ont, presque toujours, subi une altération, qui diminue beaucoup leur valeur; ils sont blanchis, pulvérulents, etc. Cette altération cesse à une profondeur qui peut être très variable : ainsi une vingtaine de mètres dans les steppes du Donetz en Russie, tandis que, dans le nord de la France, où le terrain houiller est recouvert par le crétacé, la houille qu'il renferme est intacte jusqu'à sa partie supérieure et n'a, par conséquent, pas subi d'altération ancienne avant le dépôt de ces couches du crétacé; ou, du moins, les parties qui avaient pu

être altérées alors ont disparu, avant le crétacé, par l'érosion.

Parmi les **minerais**, j'insisterai surtout sur ceux de **fer**, qui présentent partout, mais notamment en France, une importance tout à fait prépondérante.

Les gisements de fer sont de natures variées. Rarement on a des amas de fer oxydulé magnétique dans des roches serpentineuses ou basiques; les filons proprement dits jouent également un rôle restreint dans la production du fer, parfois sous forme de filons carbonatés de fer (souvent gâtés par la présence du cuivre), quelquefois sous forme de filons oxydés. Les plus importants gisements de fer sont, ou des imprégnations dans les calcaires, ou des couches et amas interstratifiés d'origine sédimentaire.

Les imprégnations dans les calcaires constituent, directement ou indirectement, quelques-uns des plus beaux amas ferrugineux et des plus purs que l'on connaisse : par exemple, ceux du Cumberland, de la Styrie, des Pyrénées Françaises, de Bilbao, de l'île d'Elbe, de Mokta en Algérie. A la surface, et surtout si l'on est dans un pays montagneux, ces amas sont formés d'oxyde de fer; quand on les a exploités quelque temps, on les voit souvent passer au carbonate en profondeur.

Les minerais sédimentaires de fer existent dans tous les terrains, depuis l'étage primitif ou cristallophyllien jusqu'au quaternaire, et il continue à s'en former, tous les jours, sous nos yeux, dans certains lacs et marais. Ces minerais sont, presque tous, composés d'oxyde de fer : soit d'oligiste et de magnétite cristallisés, dans les terrains anciens métamorphiques; soit d'hématites rouge ou brune dans les terrains plus récents,

ces dernières présentant souvent des agglomérations de petits grains, variant depuis une tête d'épingle jusqu'à un gros pois. Le phosphore y est fréquemment associé avec le fer et nécessite alors un traitement spécial, dit traitement basique, qui n'est entré dans la pratique de la métallurgie que depuis une vingtaine d'années, mais qui paraît appelé à jouer un rôle de plus en plus capital à mesure que les minerais purs, surtout exploités autrefois, achèveront de s'épuiser.

Un minerai de fer peut avoir des teneurs très diverses; mais, en raison de la grande abondance de ce métal à la surface du globe, il n'acquiert de valeur que lorsque cette teneur est notable, dépasse, par exemple 30 0/0 en Meurthe-et-Moselle; en général, la présence de la chaux dans un minerai le rend utilisable à une teneur plus faible que s'il était siliceux, cette chaux jouant un rôle de fondant en métallurgie. La magnétite pure tient 72,40 0/0 de fer; l'oligiste, 70 0/0; la sidérose, 48,27 0/0; la pyrite de fer, 46,60 0/0.

La présence de certaines impuretés modifie notablement la valeur d'un minerai de fer. Une teneur un peu élevée en phosphore rendait autrefois un minerai absolument invendable. Aujourd'hui, on continue à rechercher les minerais très purs, à moins de 0,05 0/0 de phosphore; mais on utilise également en grand, pour les traitements basiques, les minerais très phosphoreux, tenant de 0,8 à 4 0/0 de phosphore. Les minerais intermédiaires ont un débouché moins facile. Le soufre est une substance très nuisible. Au contraire, on recherche des minerais tenant du manganèse (la proportion de ce dernier métal devenant par-

fois prépondérante). Pour certaines applications spéciales, il peut également y avoir avantage à trouver des traces de chrome, de tungstène, etc.; mais, en général, on introduit ces traces, dans la proportion exactement utile, pendant le traitement métallurgique.

Le **manganèse** se présente presque toujours en veines oxydées noires de pyrolusite ou de psilomélane, ayant souvent l'air d'une boue charbonneuse à l'affleurement et exposées à disparaître assez vite en proprofondeur. Une forme plus durable est celle des amas carbonatés de rhodonite dans les terrains calcaires : amas qui se décèlent à la surface par une altération en oxydes noirs, mais qui, dans leur partie intacte, sont assez difficiles à reconnaître sans une analyse. La pyrolusite pure (MnO^2) tient 63,24 0/0 de manganèse; la haussmannite (Mn^3O^4) 72,05 0/0.

L'**étain** est toujours à l'état d'oxyde, en cristaux ou grains de couleur noire ou brune (cassitérite), dans des filons de quartz en relation avec des granites à mica blanc, soit dans ces filons mêmes, soit à leur voisinage immédiat. La cassitérite contient 78,67 0/0 d'étain. Ce métal, ayant une grande valeur, peut être exploité, même lorsque le filon n'en renferme que de très faibles quantités, presque imperceptibles à l'œil nu (1/2 0/0); on peut alors soupçonner sa présence à certaines associations minérales, par exemple à une teinte jaune claire de la roche encaissante, qui se produit aussi près de l'antimoine; également à la présence du wolfram, du bismuth, de l'urane, du mispickel, etc.

Le wolfram lui-même, ou minerai de **tungstène**, est bien caractérisé par ses grandes faces noires et sa très forte densité.

L'antimoine, sous forme de sulfure (ou stibine), forme des mouches, des lentilles, des amas ou des veines généralement irrégulières et discontinues, dans des filons de quartz, au voisinage de granites à mica blanc ou de micro-granites. Aux affleurements, il se transforme en oxyde blanc, à petites facettes luisantes et translucides. La stibine renferme 83,56 0/0 d'antimoine. Un minerai trié à 50 0/0 est un minerai de première qualité. Un minerai au-dessous de 30 0/0 trouve difficilement preneur.

Le **cuivre** peut constituer des amas (généralement au contact des roches basiques), des filons proprement dits, ou des dépôts sédimentaires.

En fait d'amas, on a quelquefois de grands amas de pyrite de fer cuivreuse à 3 0/0 (teneur moyenne à Rio Tinto, dans le sud de l'Espagne, qui correspond aussi à la teneur moyenne des sédiments du Mansfeld); ailleurs, des lentilles de chalcopyrite, passant à la phillipsite ou à la chalcosine, etc. Ces amas sont toujours limités en tous sens; mais certains d'entre eux peuvent être très considérables, par exemple celui de Rio Tinto, qui a, horizontalement, 550 m. sur 120 et au moins 250 m. de profondeur.

Dans les plus beaux types de filons proprement dits, on a de la chalcopyrite, souvent avec gangue de quartz, parfois avec pyrite de fer; au voisinage des affleurements, on trouve des minerais carbonatés, verts et bleus, qui signalent aussitôt la présence du cuivre, puis, en s'enfonçant, des cuivres gris, chalcosines, phillipsites, etc., parfois avec gangue de sidérose.

Enfin, les dépôts de cuivre, intercalés dans les terrains sédimentaires, présentent souvent l'aspect de grès ou de conglomérats à ciment cuprifère, comme

au Lac Supérieur (États-Unis), dans le terrain permien de Russie, de Bohême, de la Prusse Rhénane, du Var, ou de la Bolivie, dans le tertiaire du Boléo (en Basse-Californie). Parfois aussi, on a, dans des schistes bitumineux, visiblement déposés en un bassin marin à l'eau très concentrée, de très minces délits de chalcopyrite, épais de 1 ou 2 millimètres, comme cela a lieu par exemple au Mansfeld.

Les minerais de cuivre tiennent : la chalcopyrite, 34 p. 0/0 de cuivre; la phillipsite, 55,6 p. 0/0; la chalcosine, 79,8 p. 0/0; les cuivres gris, 15 à 48 p. 0/0.

Le **zinc** et le **plomb** vont souvent de compagnie, souvent aussi sont associés, en même temps, avec le sulfure de fer. Ils existent sous trois formes principales : filons sulfureux de blende et galène; amas carbonatés dans les calcaires; dépôts sédimentaires.

Les filons de blende et de galène sont souvent altérés à la surface, surtout ceux de blende, qui montrent, dans bien des gîtes, une transformation en carbonate (calamine); la présence de la pyrite dans le remplissage accentue cet effet superficiel par les eaux corrosives, chargées de sulfate de fer et d'acide sulfurique, qui en résultent. Tantôt c'est la blende qui y domine, tantôt c'est la galène, et parfois le sulfure dominant se modifie avec la profondeur. La gangue peut être du quartz, de la calcite, parfois de la barytine. Ce genre de filons affecte souvent une allure régulièrement rubanée, à incrustations symétriques et concrétionnées.

Dans les calcaires, au-dessus du niveau hydrostatique, on trouve, comme nous l'avons vu plus haut, des amas carbonatés, surtout fréquents pour le zinc et représentant, pour ce métal, la forme de minerai la

plus ordinaire. La transformation superficielle en carbonate est beaucoup moins constante pour la galène.

Enfin, les terrains sédimentaires peuvent présenter des dépôts de sulfures de zinc et de fer, ayant subi des altérations plus ou moins prononcées au voisinage de la surface. C'est le cas des grands gisements de Silésie et probablement de ceux de la région de Carthagène; le plomb seul forme assez fréquemment des nodules au milieu de terrains gréseux (Prusse Rhénane, etc).

La blende contient 66,9 0/0 de zinc; le carbonate de zinc (smithsonite), 52 0/0; le silicate (calamine), 53,7; la galène, 86,6 0/0 de plomb; le carbonate de plomb (cérusite), 77,3 0/0. En outre, la galène renferme presque toujours une légère teneur en argent, qui ne dépasse pas 1 pour 1000.

Le **mercure** a pour minerai le cinabre (sulfure tenant 86,2 0/0 de mercure). Ses gisements, très rares et toujours filoniens, présentent des imprégnations irrégulières de cinabre rouge dans de très fins interstices, soit dans les pores d'un grès comme à Almaden, soit dans les fissures d'un schiste, d'un calcaire ou d'une argile. On exploite des minerais tenant moins de 0,80 0/0 de mercure.

L'**argent** est extrait, en grande partie, de minerais de plomb ou de cuivre argentifères, un peu aussi de minerais d'or, l'or contenant souvent des traces d'argent avec d'autres impuretés. Il existe, en outre, des gisements d'argent proprement dits, sous la forme de filons à gangue de quartz ou de calcite. J'ai déjà dit [1] quelles étaient les lois de variation de ces filons en profondeur.

1. Page 69. Voir également mon ouvrage sur l'*Argent*, chez Baillière, 1896.

L'or se rencontre, soit dans des filons, soit dans des dépôts sédimentaires qui peuvent être eux-mêmes de précipitation chimique comme au Transvaal, ou de précipitation mécanique comme dans les placers (alluvions) de Californie, d'Australie, etc[1].

Dans les filons, l'or est ordinairement associé avec du quartz et se trouve, soit à l'état natif, en pépites plus ou moins grosses, soit à l'état de combinaison avec de la pyrite de fer, du mispickel, ou quelquefois d'autres substances rares, telles que des tellurures.

La nature de ces combinaisons a une grande influence sur le traitement applicable aux minerais et, par suite, sur leur valeur; il ne suffit donc pas, pour apprécier un minerai, de savoir quelle en est la teneur moyenne, en admettant même que cette moyenne ait été rationnellement obtenue.

L'or de précipitation chimique représente une forme rare, qui n'a été trouvée jusqu'ici, avec une réelle extension, qu'au Transvaal. Il y est associé avec de la pyrite dans le ciment d'un conglomérat dont les galets, composés de quartz, sont tous stériles.

Enfin, c'est dans les alluvions anciennes ou modernes des rivières que l'or a été d'abord reconnu ou exploité, son éclat attirant immédiatement les yeux au milieu des sables.

C'est là qu'on trouve les plus grandes richesses, mais aussi les plus éphémères; car les parties riches des placers constituent toujours des poches superficielles et limitées.

Pour apprécier la proportion de l'or dans une alluvion ou dans un minerai concassé, les explorateurs

1. L. De Launay, *L'or dans le monde* (Armand Colin, 1907).

se servent d'une sébile en fer ou en bois, dans laquelle ils mettent ces fragments et qu'ils trempent dans l'eau en lui imprimant, sous l'eau, une série de secousses de haut en bas, de manière à faire descendre tout l'or au fond, par un effet de sa grande densité. On enlève alors à la main les plus gros fragments stériles; puis on sort la sébile de la cuve en y laissant de l'eau et on imprime à cette eau un mouvement de rotation, qui a pour effet de concentrer peu à peu, à la périphérie, dans une rainure ménagée à cet effet, toutes les parties lourdes, or, pyrite, etc. Un dernier tour de main sépare la traînée aurifère de la traînée pyriteuse, qui a une couleur différente et, avec un peu d'habitude, on peut, sur le seul aspect de cette traînée aurifère, juger approximativement de la richesse du minerai.

Les teneurs nécessaires pour qu'une exploitation d'or soit fructueuse varient naturellement avec les conditions locales et la nature des minerais; elles sont toujours très faibles; par exemple, au Transvaal, il suffit, avec des conglomérats très durs et coûteux à broyer, avec une main-d'œuvre d'un recrutement difficile, de 8 grammes par tonne.

Dans le nord de la Californie, où l'on exploite certaines alluvions par la méthode dite hydraulique en démolissant des falaises entières par des jets d'eau gigantesques analogues à ceux qui servent à arroser nos jardins, on est descendu, dans des circonstances particulièrement favorables, à moins de 1 gramme par 10 mètres cubes.

CHAPITRE IX

Application de la géologie à l'étude topographique, géographique, ou simplement pittoresque des terrains.

A. — Utilité de notions géologiques sommaires pour le topographe, le géographe, l'officier, l'ingénieur, l'artiste et l'historien.

B. — Le relief terrestre. Ses causes et son mode de formation. Types généraux de relief topographique et d'aspect pittoresque, résultant de la nature géologique du sol.

C. — Application plus détaillée des idées précédentes à un cas particulier (Bassin de Paris).

A. **Utilité de notions géologiques sommaires pour le topographe, l'officier, l'ingénieur, l'artiste et l'historien.** — La disposition topographique du sol et, par suite, l'aspect pittoresque d'un pays, qui en est la conséquence directe, sont voulus et déterminés par la géologie. Ce sont les phénomènes étudiés par le géologue qui ont sculpté les montagnes, creusé les vallées, modelé les pentes des coteaux; ce sont eux également qui, en amenant telle ou telle composition des terrains, ont produit telle ou telle forme des roches et des escarpements, permis telle ou telle culture, donné aux étangs et aux sources telle ou telle disposition, nécessité le groupement des maisons en villages ou

provoqué leur dispersion, causé souvent la prospérité ou la pauvreté des habitants. Il suffit, avec un peu d'expérience, de quelques simples notions géologiques pour voir, sur une carte où les natures des terrains sont représentées par des nuances diverses, l'aspect général de la région apparaître à l'esprit, comme si l'on en avait une série d'images sous les yeux. Aux renseignements fournis par une carte ordinaire s'en ajoutent alors d'autres, bien précieux pour quiconque a à se diriger dans un pays inconnu. On peut, en effet, reconnaître, à distance et sans erreur possible, un mamelon, une vallée d'une autre d'après leur couleur ou leur forme. Avant même d'entrer dans un pays, on sait si les pentes sont douces ou les reliefs accidentés, si l'on doit y trouver de préférence de gras pâturages, des étendues de blé ou des bois; de gros bourgs ou des fermes isolées dans les champs; si l'on rencontrera des sources abondantes, des puits profonds, ou seulement des mares et des citernes; l'officier peut prévoir les points favorables à l'attaque ou à la défense, les étapes de ravitaillement; l'ingénieur connaît la direction où doivent porter de préférence ses études pour l'établissement d'une route ou d'un chemin de fer; l'artiste choisira plus aisément le sens de ses courses à la recherche du motif pittoresque et même, on peut le dire, de tel ou tel motif propre à un certain terrain; dans l'observation que nécessite son dessin, il est encore guidé par l'intelligence des causes qui ont amené telle ou telle forme de cassures et de strates, telle disposition arrondie ou abrupte; dirai-je enfin, avec quelque apparence de paradoxe, que le simple touriste trouve souvent dans la géologie un moyen pratique d'établir

son itinéraire pour trouver les meilleurs gîtes à l'auberge, la richesse d'un endroit étant en rapport direct avec une certaine composition et une certaine allure des terrains.

Rien, en effet, dans la structure d'un pays, n'est le résultat du hasard; la forme de la terre est, en chaque point, la conséquence des vicissitudes successives qu'elle a subies pendant cette longue suite de siècles, antérieurs à l'histoire proprement dite, qui constituent son histoire géologique. Et, dans les actes mêmes des hommes qui sont venus s'y établir ou simplement qui s'y sont rencontrés, tantôt pour des échanges pacifiques, tantôt pour des combats, s'il faut assurément faire intervenir une foule d'autres influences générales ou accidentelles, la constitution physique du sol n'en a pas moins joué un rôle essentiel. C'est elle qui a, presque toujours, déterminé d'avance les emplacements des villes et des champs de bataille; c'est elle aussi qui a donné certains caractères communs à toutes les races établies successivement sur le même sol, qui a contribué souvent à les fondre ensemble. Par là s'impose à l'historien, lui aussi, l'étude attentive de la géographie physique, qui — on le reconnaît de plus en plus aujourd'hui — n'est elle-même qu'un corollaire, une dépendance directe, une suite de la géologie.

Si tels sont les secours apportés par la science géologique au topographe, au géographe, à l'artiste et même à l'historien, il faut, pour que ceux-ci en profitent, ramener l'étude qu'elle nécessite à ses notions les plus élémentaires et surtout la dégager de toute terminologie trop savante.

Ainsi que je l'ai déjà fait remarquer souvent dans

le cours de cet ouvrage, il ne s'agit pas, en effet, pour ceux qui ne font à la géologie qu'un emprunt accidentel, de connaître et surtout de déterminer l'âge des terrains, but en apparence essentiel des géologues. Pour espérer arriver à une telle détermination, surtout pour lui donner le caractère de précision nécessaire si l'on veut en déduire des connaissances pratiques, il faut de très longues études sur le terrain et dans le laboratoire, qui conviennent seulement à des spécialistes. Mais, cette détermination ayant déjà été faite par ces spécialistes, comme c'est le cas pour la presque totalité de la France, n'importe qui peut essayer d'en tirer parti, ainsi que je l'ai montré dans le chapitre spécialement consacré à la lecture des cartes géologiques; ou même, plus simplement, sans chercher à connaître l'âge précis des terrains, on peut se contenter d'apprécier à quel grand groupe physique et chimique ils appartiennent, si ce sont, par exemple, des calcaires, des grès, des poudingues, des schistes, des argiles, des roches éruptives, etc., et en conclure leur aspect structural, qui dépend, avant tout, de cette composition.

Je commencerai par un court aperçu théorique sur la façon dont s'est produit le relief terrestre [1], cet aperçu nous étant nécessaire pour apprécier les formes qui en résultent; puis nous examinerons, d'une manière générale, les principaux types simples de relief et d'aspect pittoresque que présentent les divers terrains, et, enfin, nous étudierons les groupe-

1. Voir, à ce sujet : *Les formes du terrain*, par DE LA NOË et DE MARGERIE, et le grand travail de ce dernier savant sur le relief de la France, en cours de publication au service de la Carte géologique.

ments de ces types et les dispositions plus complexes que produit la superposition ou le contact (voulu et prévu par la géologie) de terrains divers, en appliquant ces principes à une région particulièrement bien connue de tous et, en outre, très complètement étudiée, comme le bassin de Paris.

B. **Le relief terrestre. Ses causes et son mode de formation. Types généraux de relief topographique et d'aspect pittoresque, résultant de la nature géologique du sol.** — Dans la forme de la planète sur laquelle nous vivons et que nous avons, à tant d'égards, intérêt à connaître, il y a lieu de distinguer, en commençant par une vue d'ensemble, pour aborder ensuite un examen de plus en plus détaillé : 1° le premier façonnage général, par exemple la disposition en ellipsoïde et, peut-être, jusqu'à un certain point, la répartition relative des grandes masses continentales et océaniques qui est la conséquence plus ou moins directe de lois astronomiques, dont nous n'avons pas à parler ici ; 2° ce qu'on a appelé l'allure structurale, c'est-à-dire la nature et l'âge des couches ou des roches dans chaque pays, leur érection en chaînes de montagnes plus ou moins accidentées, ou leur aplanissement en plateaux, l'esquisse grossière de leur forme, qui est la conséquence de tous les phénomènes géologiques successifs, et, enfin, 3° le modelé de détail, le finissage, le creusement des vallées, le comblement des plaines, qui résultent d'un travail prolongé et continu des causes superficielles [1], surtout des eaux, mais aussi des vents, des glaciers, etc., pendant la dernière

1. Il a déjà été question assez longuement au chapitre II, p. 47, de ces actions superficielles.

période de temps, qui s'est écoulée depuis que notre globe, par de grands accidents géologiques, a pris, dans l'ensemble, sa structure provisoire actuelle.

Quand, laissant de côté les théories générales, on considère une région déterminée, on y constate aussitôt l'action successive de ces deux dernières influences, d'une valeur et d'une intensité si inégales, l'une profonde, l'autre superficielle : d'un côté, l'ensemble de tous les événements géologiques, qui, en ce même point, ont, tour à tour, amené ou retiré les eaux, dont les dépôts se sont accumulés, qui y ont introduit des roches éruptives qui les ont plissés, disloqués, brisés, transformés chimiquement ou mécaniquement à diverses reprises et, de l'autre, le lent et progressif travail des érosions, qui, chaque jour, contribuent à aplanir les crêtes, à combler les dépressions, à régulariser les profils, à ramener la terre de l'aspect hérissé, déchiqueté et comme hirsute qu'elle devait avoir à la suite des derniers cataclysmes géologiques, vers une forme d'équilibre plus stable, plus normale, plus régulière et plus continue.

Du premier ordre de considérations, qui nous entraînerait trop loin, je rappellerai surtout les principes fondamentaux et les conclusions essentielles, dont il a déjà été question dans les deux premiers chapitres de ce livre.

J'ai dit alors combien, aux époques successives de son histoire géologique, une région quelconque, sur laquelle notre attention se trouve spécialement portée, avait pu subir de vicissitudes : tour à tour couverte par les mers, émergée, envahie par les eaux douces d'un lac, puis transformée de nouveau en une plaine, devenant un centre de volcans, prenant un relief

alpestre, aplanie et nivelée comme la Bretagne, etc. Chacun de ces événements a laissé son empreinte dans l'aspect actuel du pays, qui, inversement, peut permettre à lui seul de reconstituer cette histoire compliquée.

Il ne faudrait pourtant pas s'imaginer que, partout, la complication a été la même et que la forme des continents et des mers a été constamment bouleversée de fond en comble au cours des temps, sans jamais rien garder de sa disposition antérieure.

Un premier examen superficiel de quelques cartes des continents à diverses époques successives, telles que plusieurs géologues ont essayé de les dresser récemment, frappe, en effet, d'abord, par les transformations profondes et répétées auxquelles — surtout dans cette Europe Centrale qui nous intéresse spécialement — la forme de la terre paraît avoir été soumise. Mais, à la réflexion, cette première impression s'atténue peu à peu quand on embrasse l'ensemble de la terre, et l'on est, au contraire, de plus en plus porté à insister sur certains grands traits persistants du relief, d'une importance tout à fait prépondérante.

Parmi ceux-ci, il faut citer, en premier lieu, cette grande et si remarquable dépression circulaire du Pacifique, cet entonnoir d'effondrement à bords escarpés, à fond plat, qui occupe à lui seul près d'un tiers de la superficie terrestre, entonnoir déjà submergé dès l'époque primaire. Dans le reste de cette surface, où s'accumulent nos cinq continents actuels, on peut également remarquer la persistance, depuis les temps primaires, des continents occupant : d'une part, l'Amérique du Nord, la Scandinavie et la Sibérie ; de l'autre, le Brésil, l'Afrique, l'Inde Méridionale et

l'Australie et, entre ces deux masses, l'une boréale, l'autre australe, l'existence constante d'un grand sillon maritime est-ouest, situé au nord de l'Équateur, qui, depuis la fin des temps carbonifères, a constamment relié l'Amérique Centrale à l'Indo-Chine par notre zone méditerranéenne actuelle.

Mais, à côté de ces traits persistants, il faut remarquer de suite que toute la zone contiguë à ce sillon méditerranéen, zone qui embrasse notamment l'Espagne, la France, l'Allemagne, l'Italie et l'Afrique du Nord, c'est-à-dire les pays qu'un Français peut avoir le plus d'occasions de visiter ou d'étudier, semble avoir été dans un état d'instabilité perpétuelle, dû à l'accumulation, sur cette même bande, des principaux efforts de plissement de l'écorce; il faut également observer que l'Atlantique est, contrairement au Pacifique, une mer très jeune, dont la forme n'était nullement indiquée encore à la fin de la période jurassique, l'Amérique du Nord ayant été alors reliée à la Scandinavie et à la Sibérie, le Brésil à l'Afrique, à l'Inde et à l'Australie.

Je ne voudrais pas insister ici sur cet ordre de réflexions générales; mais il était nécessaire de les indiquer en commençant pour qu'on ne fût pas tenté de considérer comme universelles une complication et une variabilité de formes qui nous sont particulièrement familières, parce qu'elles s'appliquent à la zone de l'Europe Centrale, que nous connaissons le mieux, mais qui n'en représentent pas moins une exception dans l'ensemble de la terre.

Cela posé, que les événements géologiques aient été plus ou moins nombreux en un point donné, il n'en est pas moins vrai que chacun d'eux y a laissé une

empreinte caractéristique. Si, par exemple, on a eu là, pendant le silurien, une mer chaude, peu profonde et propre à la vie des espèces coralliennes, on trouvera, avec des fossiles de l'époque silurienne, des calcaires ou des marbres, constitués par les récifs de coraux, dont ces calcaires montrent encore aujourd'hui la structure bien reconnaissable. Plus tard, si la mer a subi un mouvement de retrait et s'il s'est établi un régime côtier, on aura eu des amoncellements de galets, des sables ou des vases, comme sur nos plages normandes, donnant, par leur consolidation actuelle, des conglomérats, des grès ou des schistes. Qu'il se soit produit ensuite un plissement, faisant surgir une chaîne de montagnes, il en résultera, pour tous les terrains antérieurs à ce mouvement, d'abord déposés horizontalement, une allure troublée, plissée, disloquée et l'on verra souvent les strates anciennes verticales, contournées, comme dans certaines falaises du Dauphiné ou de la Kabylie, ou du moins très redressées au lieu d'être horizontales. Le calme s'étant rétabli pendant le carbonifère et le pays ayant été alors émergé, les dépôts marins carbonifères feront complètement défaut et l'on pourra seulement trouver, de cette époque, des remplissages de lacs, caractérisés par une allure spéciale, par une disposition plus localisée, par des couches irrégulières à galets énormes, parfois par des accumulations de plantes terrestres ayant produit la houille. Puis il a pu s'ouvrir des volcans, ayant donné des coulées de porphyre. Et, si le pays est resté émergé depuis lors, il a seulement subi une lente abrasion, qui, peu à peu, a fait disparaître les sommets de la chaîne à caractère alpestre pour produire un plateau, en localisant les restes des terrains

primaires dans le fond des plissements, qui se présentent sur la carte comme des zones allongées. Le contre-coup du soulèvement des Alpes pendant l'époque tertiaire s'est-il fait sentir, il a pu alors apparaître de nouveaux volcans, se creuser des lacs : on le constatera par l'existence de coulées volcaniques tertiaires (trachytes, basaltes, etc.), par l'apparition de dépôts à coquillages lacustres de la même époque, etc.

C'est à peu près l'histoire géologique du Plateau Central que je viens de retracer, et on voit aussitôt comment, de cette histoire géologique, résulte l'aspect topographique de ce plateau : de grandes étendues presque nivelées, à ondulations lentes [1], où apparaissent, par bandes allongées parallèlement les unes aux autres, les racines des plissements primaires, c'est-à-dire des dômes granitiques suivant les anticlinaux, des gneiss, des micaschistes et des traînées de terrains primaires, généralement plus friables, par suite plus attaquées par l'érosion, dessinant des zones de dépressions suivant les synclinaux. Puis, les rivières ayant eu le temps, pendant une longue abrasion, de régulariser leur profil en long jusqu'à une forme d'équilibre à peu près parfaite et, par suite, ayant approfondi peu à peu verticalement leurs vallées, celles-ci nous apparaissent très encaissées, dans des gorges ou des cañons, au milieu des roches cristallines plus dures qui les entourent; les volcans tertiaires ont produit, sur certains points spéciaux, de hauts sommets volca-

1. Il est très frappant, dès que l'on s'élève un peu dans le Plateau Central, de voir combien les lignes d'horizons apparaissent plates de tous côtés : ce qui prouve une érosion très prolongée, également caractérisée par l'encaissement de rivières calmes, sans cascades ni lacs, arrivées à leur forme d'équilibre stable, dans de profondes gorges granitiques.

niques, plus escarpés parce qu'ils sont plus récents et gardant souvent leur forme de cratère bien typique, avec, au voisinage, de grandes coulées d'andésite ou de basalte, qui présentent des nappes plates et légèrement inclinées sur le haut des plateaux, ou sont coupées par des escarpements sur leur bordure; enfin, les terrains tertiaires, résidus d'anciens lacs encore enfoncés par les mouvements postérieurs, occupent des plaines déprimées comme la Limagne, où l'aspect du sol, les cultures, tout tranche fortement avec ce qu'on peut observer sur les rudes plateaux de roches cristallines avoisinants.

Il serait aisé de multiplier de semblables exemples, et l'on verrait sans peine comment l'aspect caractéristique de pays nettement tranchés, comme la Bretagne, les Vosges, le Jura, la Champagne, la Savoie, etc., résulte directement de leur histoire géologique; un Michelet y trouverait les éléments d'un beau tableau de la France; mais ce serait faire incidemment une sorte de géographie physique, et je préfère renvoyer aux ouvrages spéciaux sur ce sujet, pour insister sur un autre ordre de phénomènes, déjà mentionné tout à l'heure incidemment, qui influe peut-être plus encore, dans le détail, sur les formes topographiques : je veux dire l'inégale façon dont se comportent les diverses natures de terrains et les roches sous l'action constamment renouvelée des érosions.

Le modelé des terrains, leur façonnage, ou, si l'on veut, leur finissage, a été, en effet, produit surtout par l'action directe des eaux, en utilisant au besoin la force destructive et érodante des matériaux qu'elles emportaient dans leur courant. Il est en relation

directe avec la nature des couches représentées en chaque point, c'est-à-dire avec la résistance plus ou moins grande qu'elles offrent à la désagrégation; les accidents mécaniques d'ordre plus ou moins général, tels que failles, crevasses, etc., n'ont eu, en comparaison des influences météoriques, qu'un rôle insignifiant.

Le résultat de ce long travail progressif, qui apparaît de plus en plus avancé et complet quand on suit les cours d'eau de leur source à leur embouchure, est manifesté, dans son ensemble, par quelques caractères très remarquables, qu'offrent les terrains des pays de plaine ou des régions peu accidentées, les pays arrivés par suite à ce qu'on peut appeler leur *forme d'équilibre*, par contraste avec les zones montagneuses, où la terre est encore brute et n'a pas subi son polissage complet.

Dans ces pays, on observe : 1° une continuité singulière des pentes dans le sens du courant, sans accidents brusques, tels que cascades ou ressauts énormes, barrages produisant des lacs, etc.; 2° un accroissement, généralement continu et progressif, des canaux d'écoulement vers leur embouchure; 3° une correspondance des niveaux aux confluents, sans qu'il y ait, par exemple, chute par cascade d'un affluent dans le fleuve principal.

Tous ces caractères, que l'habitude nous fait considérer comme naturels et presque évidents et qui, pourtant, ne sont jamais qu'imparfaitement réalisés dans les pays de montagnes, témoigneraient d'un hasard si exceptionnellement favorable, en les supposant indépendants du cours d'eau, qu'on doit bien, au contraire, les considérer comme l'œuvre de ce cours d'eau lui-même. Cette action des cours d'eau a

donc eu pour effet de régulariser les thalwegs des rivières en les faisant tendre vers un profil d'équilibre par l'ablation des saillies et le comblement des cavités.

En outre des eaux courantes ou ruisselantes, divers autres phénomènes sont intervenus dans cette érosion, dont on se figure malaisément l'extraordinaire intensité, parce qu'on ne songe pas assez aux très longues séries de siècles pendant lesquelles elle s'est poursuivie : ainsi la destruction due à la gelée, l'éboulement des rochers effrités et minés par les eaux, l'érosion souterraine dans les grottes, l'action de la mer sur ses rivages, les glaciers, les vents, les organismes, etc. Si l'on veut se faire une idée approximative des épaisseurs qui ont pu ainsi disparaître sur les saillies terrestres et être entraînées vers ses dépressions, il suffit de comparer entre elles plusieurs chaînes de montagnes, auxquelles les géologues assignent un âge différent et qui, suivant toutes vraisemblances, ont eu un aspect analogue au moment de leur soulèvement. Que l'on quitte, par exemple, les Alpes pour parcourir les Pyrénées, puis le Plateau Central, enfin le Plateau Scandinave, on se trouvera en présence de quatre chaînes de montagnes de plus en plus anciennes, qui, chacune à leur tour, ont dû, à des époques géologiques séparées par d'énormes intervalles, dresser dans l'air des saillies analogues. Le Plateau Central ou le Plateau Scandinave nous représentent une chaîne alpestre usée, rongée, arrasée jusqu'à sa racine : ils nous donnent l'image de ce que pourront être les Alpes elles-mêmes dans quelques milliers, ou plutôt dans quelques millions d'années.

Tout cela s'opère à peu près exclusivement sous l'action de la gravité et des eaux, celles-ci étant elles-

mêmes entraînées par la gravité. La force, qui attire tous les éléments terrestres vers le centre et qui est seulement contrebalancée momentanément par les pressions ou les fusions internes, doit logiquement ramener ces éléments vers une forme d'équilibre bien nivelée et voisine d'un ellipsoïde de révolution parfait.

Dans ce travail se fait immédiatement sentir le rôle différent des terrains plus ou moins durs ou plus ou moins tendres, attaquables ou non aux eaux acides.

Une roche dure, située dans le sol, résiste tout naturellement à la destruction, qui attaque les parties voisines. D'où la mise en saillie de certains dykes éruptifs, ou filons quartzeux, comme le dyke de roche éruptive représenté par la fig. 16, qui offre des aspects de ruines. Dans le Plateau Central, les grands filons de quartz ont constamment des apparences de murailles cyclopéennes.

Une roche dure peut même protéger relativement les parties tendres situées au-dessous; c'est ainsi que, dans des alluvions argileuses contenant de gros blocs durs, ces blocs se sont trouvés peu à peu rester en hauteur, perchés sur un cône d'argile et ont constitué le phénomène classique des pyramides de terre du Tyrol (fig. 17).

Indépendamment de la dureté, la nature minéralogique intervient : une roche, formée de silice à peu près pure (quartzite, grès), sera presque inattaquable; un calcaire se dissoudra vite et irrégulièrement, suivant que les eaux pénétreront plus ou moins facilement au contact de ses molécules et rencontreront des parties plus ou moins siliceuses, etc.

Quand un cours d'eau traverse un pays formé de terrains durs et tendres alternant dans les pentes

des collines, on voit très bien le profil de celles-ci en porter l'empreinte; il prendra, par exemple, la forme de la fig. 18, qui représente, d'après M. de Margerie,

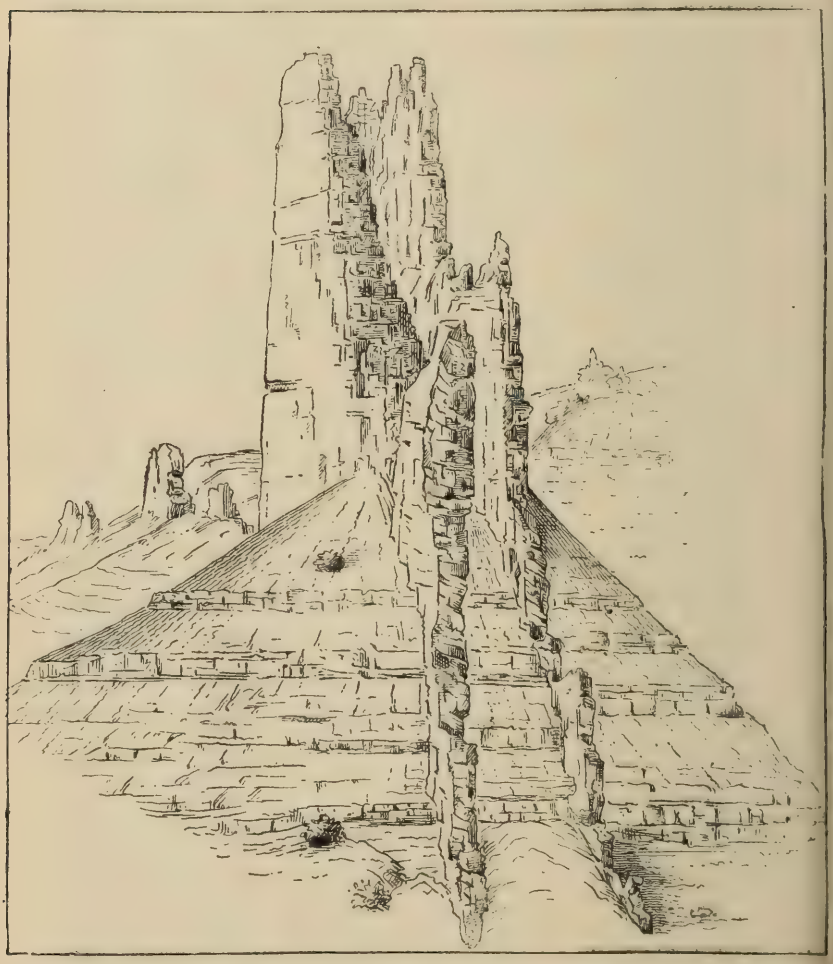


Fig. 16. — Dyke de roche éruptive en saillie sur le Navajo Creek (Arizona), d'après W.-H. Holmes.

la vallée de la Bienne et qui, théoriquement, se ramène à la fig. 19; ce profil est transformé, comme le montre la fig. 20, dans des couches inclinées,

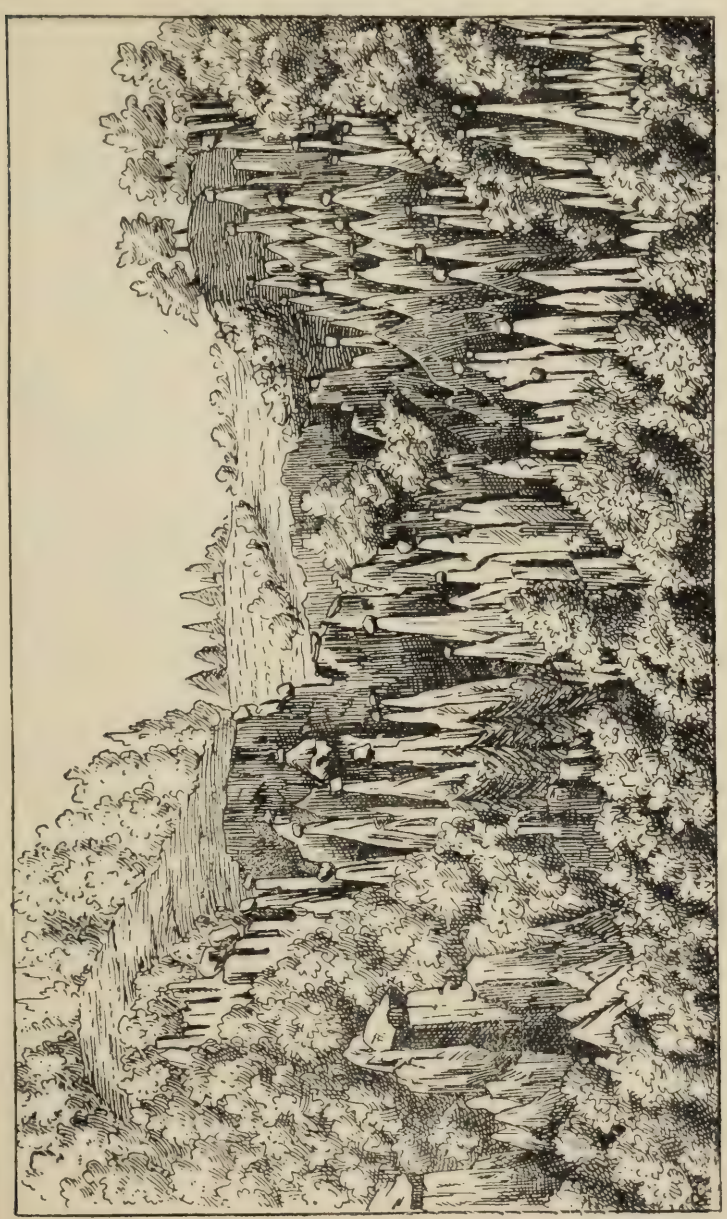


Fig. 17. — Vue des piliers de terre de Rittou, sur le Finsterbach, près de Botzen (Tyrol) d'après Lyell.

avec dissymétrie forcée. Une faille entraîne également une dissymétrie entre ses deux lèvres, etc.

Un banc dur superposé à un banc tendre dans un versant (par exemple un calcaire au-dessus de marnes), se disloque et descend par échelons, comme le montre la figure 21. Cet aspect est notamment très bien caractérisé dans les falaises de la côte du Calvados, entre Houlgate et Villers, où des bancs durs de craie blanche cénomanienne sont superposés à des argiles noires calloviennes et oxfordiennes, avec lesquelles elles forment un contraste absolu. Il faut — remarquons-le en passant — se tenir en garde contre ces éboulements par grandes masses, quand on étudie une coupe géologique, afin de ne pas prendre une partie éboulée pour une partie en place et en conclure un ordre de superposition inexact. L'étude des terrains houillers du centre de la France montre même que de tels éboulements se sont produits, dès l'époque houillère, au bord des lacs alpestres, dans lesquels se déposaient les végétaux destinés à constituer la houille.

Le caractère essentiel à retenir de ces observations, c'est que, suivant la nature des terrains, leur pente extérieure sera plus ou moins forte : les roches dures produisant seules des escarpements, tandis qu'on trouvera des talus d'éboulement dans les roches tendres.

La connaissance première de la coupe géologique d'une région permet donc de prévoir l'aspect que peuvent présenter les coteaux et les vallées.

Ainsi les plateaux du Transvaal et de l'État d'Orange, formés de terrains horizontaux empilés, que l'érosion a atteints en les éboulant sur les côtés, ont tous des profils trapézoïdaux extrêmement caractéristiques.

Les vallées, dans leur dessin primitif, paraissent résulter du premier ruissellement naturel qui a eu une

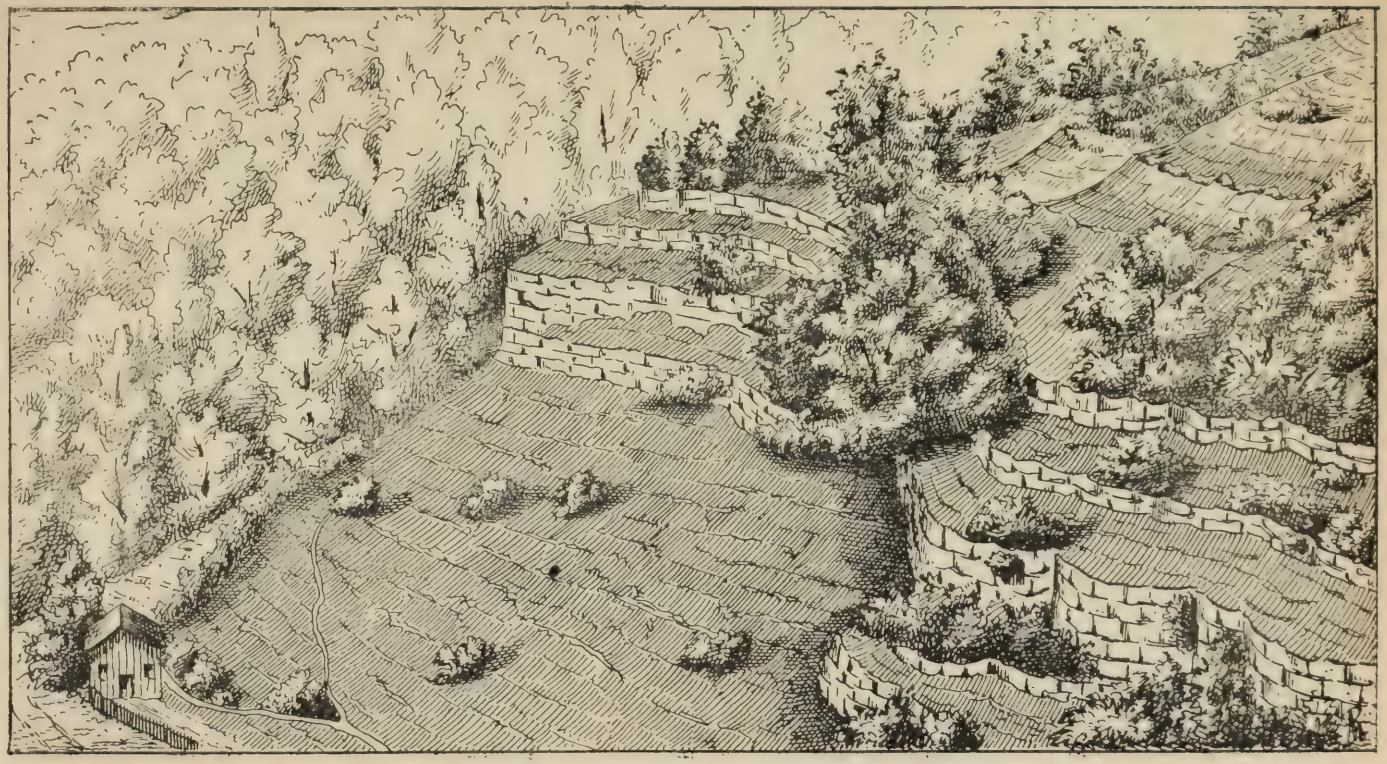


Fig. 18. — Les pentes de la vallée de la Bienne (d'après M. de Margerie).

tendance à se faire sur le sol après sa dernière émersion : ruissellement, dans la localisation duquel un premier système de cassures superficiel a pu avoir son influence; après quoi, les rigoles, une fois commencées, se sont approfondies de plus en plus vers la position d'équilibre, sans qu'il y ait eu besoin de fis-

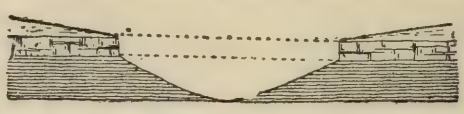


Fig. 19. — Coupe transversale théorique d'une vallée encaissée dans des terrains horizontaux de dureté inégale : les uns, durs, formant des escarpements; les autres, tendres, donnant des pentes douces.

sures profondes persistantes. On observe, en effet, très bien dans certaines gorges bien caractéristiques, comme celles de la Tamina près de Ragaz, comme la rivière souterraine de Padirac (Lot), qu'il n'y a pas de

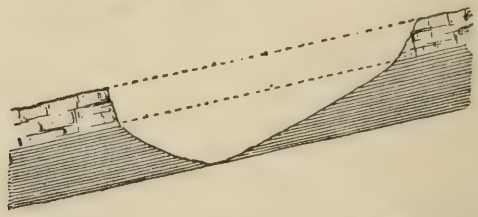


Fig. 20. — Coupe transversale théorique d'une vallée creusée dans des terrains inclinés d'inégale dureté.

cassure longitudinale au fond de l'entaille étroite qu'a sciée peu à peu la rivière.

Néanmoins, les cassures jouent certainement un rôle dans l'érosion, ne fût-ce que dans le détail du travail de désagrégation; et cela est particulièrement net dans les terrains calcaires, où il existe toujours des réseaux de semblables cassures. Les innombrables plans de grottes, relevés par M. Martel ou ses élèves, le font voir avec une entière évidence.

Fig. 21. — Aspect d'escarpement, dans lequel un banc dur calcaire est superposé à des bancs tendres argileux (d'après M. de Margerie).

Par suite de ces diverses considérations, une nature déterminée de terrain (et je ne parle pas ici de son âge, mais de sa composition, telle que conglomérat, grès, schiste ou poudingue) entraîne un certain aspect pittoresque bien caractéristique, que l'on peut prévoir du moment que l'on connaît cette nature par la lecture d'une carte géologique, pour peu que l'on ait couru le monde et qu'on se soit familiarisé avec ces divers aspects caractéristiques, dont les différences de végétation, de culture, d'habitations, de monuments, ou de types et costumes humains, masquent seules la réelle uniformité.

Chaque catégorie d'accidents pittoresques n'offre elle-même, dès lors, qu'un petit nombre de formes générales, résultant des quelques combinaisons, que peuvent présenter les grès, schistes, calcaires, granites, laves et basaltes par exemple, aux prises avec un même phénomène naturel. Cela est particulièrement frappant, quand ce phénomène se produit presque uniquement dans une nature de terrains déterminée, comme les grottes dans les calcaires, et j'ai essayé autrefois de montrer [1] comment les grottes, si variées d'apparence, se ramènent, en somme, à quelques formes simples. Il serait facile de faire un travail analogue pour les cascades, les lacs, les vallées, les gorges, les glaciers, les rivages de mer, etc. Après le premier étonnement que cause au voyageur l'aspect inattendu de régions nouvelles, il est bientôt, de plus en plus, frappé par les ressemblances qu'offrent entre elles des contrées situées aux deux extrémités du monde, dès que leur nature géologique est la même.

1. De Launay et Martel, *Grottes et eaux souterraines* (*Bul. Soc. géol.*, 3e sér., t. XIX, p. 142, 1er déc. 1890).

Non seulement, les paysages ordinaires de nos pays, pour lesquels nous nous attendons tous à des répétitions, mais encore les paysages les plus célèbres pour leur originalité semblent calqués l'un sur l'autre, quand ils ont été façonnés par les mêmes conditions géologiques et physiques.

Par exemple, le ravin du Rummel à Constantine, cette entaille creusée verticalement par une rivière au milieu d'assises de grès, se reproduit à Ronda en Espagne, où une rivière a dû traverser de même des grès semblables; les si curieux escarpements des Météores en Thessalie, ces bastions naturels coupés de tous côtés dans les grès et conglomérats tertiaires par des falaises, ont leur équivalent ailleurs, où des strates analogues ont été ravinées par les eaux et amenées à se dresser au-dessus d'une plaine : dans la Suisse Saxonne, au Mont Serrat en Espagne, au Colorado, voire même au Rigi. Les déchiquetages bizarres de certains calcaires des Causses (Montpellier-le-Vieux, etc.) se répètent dans les Alpes dolomitiques et dans les lapiaz des Alpes. Les dômes granitiques des Vosges, de la Forêt Noire, du Plateau Central, de l'Espagne se ressemblent. Les volcans de toutes les parties du monde ont un air de famille, etc. Que l'on aille au bout de l'Asie ou de l'Afrique et qu'on y retrouve les roches de son pays natal, on sera moins dépaysé que si, en quelques kilomètres, on s'est trouvé changer brusquement de terrain géologique, passer, par exemple, du granite au jurassique, comme cela arrive sur la bordure du Morvan ou des Vosges, à Avallon, Autun, Remiremont, Alençon, etc.

Ainsi, sur le granite, ce seront, partout les mêmes dômes arrondis, plus ou moins surbaissés, plus ou

moins nivelés par de longues érosions, disposés côte à côte en une orographie confuse; les mêmes blocs arrondis, épars sur les terrains, ou suspendus en saillie sur les hauteurs et prêtant aux légendes les plus fantastiques, quand l'imagination n'y voit pas des dolmens et des menhirs. En même temps, le sol, manquant de chaux, se prête mal aux cultures et offre beaucoup de prés, souvent tourbeux, qui ont besoin de drainage, parfois des étangs dans les bas-fonds. On traverse des paysages aux lignes sévères, dont les teintes sombres correspondent bien à ce qu'on attend d'un vieux pays, vieux par la géologie, vieux aussi généralement par l'histoire; car les lambeaux démantelés des massifs primaires forment dans nos pays des forteresses isolées où se sont réfugiées et perpétuées des races primitives, restées sans mélange avec les envahisseurs qui tournaient autour d'elles : géologie, géographie, histoire, agriculture se tiennent, on le voit, par des liens étroits.

Au lieu d'un pays granitique, supposons un grand plateau calcaire : s'il n'est pas surmonté d'assez de limon pour retenir les eaux, les fissures nombreuses, qu'il présente toujours, laisseront ces eaux s'échapper et descendre en profondeur jusqu'à ce qu'elles y rencontrent souterrainement une couche imperméable. On aura alors un pays sec, qui, suivant les cas, pourra être aride ou se prêter à la culture des céréales; plus d'arbres; des habitations dispersées au hasard, s'il y a assez d'argile à la surface pour garder l'eau de pluie dans des mares, comme en Normandie; au contraire, des villages groupés, s'il faut se décider à aller chercher l'eau en profondeur par des puits coûteux, entrepris à frais commun, comme dans la Beauce.

Dans cet ordre d'idées, il y aura donc plusieurs distinctions à faire. Le type des plateaux complètement dénudés des Causses français se retrouve dans le Karst autrichien, dans le Monténégro, avec des calcaires semblables, partout où ces calcaires ne sont recouverts d'aucun limon; les rivières y sont profondément encaissées ou souterraines, coulant sur une nappe d'argile située à une grande profondeur; alors rien ne pousse à la surface; la végétation, fatiguée par les vents, se réfugie dans des trous, et l'on ne voit que pierrailles, où des troupeaux de moutons et de chèvres paissent une herbe rare.

La Beauce est aussi un plateau calcaire sec, mais avec assez de limon pour retenir le peu d'humidité nécessaire à la culture, et c'est alors une région riche et fertile. Dans des pays comme la Haute-Normandie, le Pays de Caux, l'ouest de la Beauce, etc., on a, même, sur le calcaire, assez d'argile à silex pour que les prairies puissent vivre, le climat pluvieux de la Normandie aidant.

Dans les terrains sédimentaires, secondaires ou tertiaires, à couches parallèles et alternantes de calcaires, de grès, de sables et d'argiles, chacune de ces natures de terrains ramène un aspect caractéristique qui peut être aisément prévu et dont l'observation ne manque guère de confirmer l'existence. Le bassin de Paris, notamment, sur lequel je reviendrai tout à l'heure, avec sa série de ceintures concentriques de plus en plus récentes, dont le centre est Paris, se prête bien à ce genre d'observations.

Des alternances d'argile et de sable donneront un sous-sol imperméable, c'est-à-dire des eaux stagnantes, de grands étangs, des landes, où la seule

ressource est de boiser : témoin la Sologne, les Landes. La carte topographique prend, dans ces régions à sous-sol imperméable, quelle qu'en soit l'origine, un aspect très caractéristique par le nombre des cours d'eau, leur faible importance, leur allure capricieuse. Au contraire, un sol perméable absorbe les eaux pour les rendre en sources sur quelques points privilégiés, correspondant à de grandes coupures du terrain et donnant lieu à de larges cours d'eau.

Ces remarques, que je fais ici sur des exemples pris à peu près au hasard, sont toutes naturelles et devraient même paraître d'une évidence banale si la science de la terre occupait, dans l'enseignement primaire, la place à laquelle elle a droit. Il n'est pas, en effet, une personne étrangère à toute idée géologique, mais d'esprit un peu observateur, qui n'ait été frappée en voyant, au cours d'une simple promenade, parfois même dans l'intérieur de sa seule propriété, tout se transformer soudain, aspect, culture, richesse agricole, au delà d'une ligne de démarcation idéale, tracée avec une merveilleuse netteté. Elle n'en serait pas surprise et même, au contraire, elle aurait pu le prévoir, si elle avait consulté une simple carte géologique qui lui aurait montré là le passage, par contact naturel ou par faille, d'un terrain à un autre.

C. **Rapports de la géologie et de la topographie dans le bassin de Paris.** — Le bassin de Paris présente, à notre voisinage immédiat, une région naturelle, où il est facile de vérifier, dans le détail, les rapports intimes de la géologie avec les formes topographiques. Dans son ensemble, le bassin de Paris forme une sorte d'amphithéâtre géologiquement constitué par des cuvettes successives de

terrains de plus en plus récents, emboitées les unes dans les autres : cuvettes dont les affleurements dessinent, sur la carte géologique, des zones circulaires concentriques, jurassique, puis crétacée, puis tertiaire, autour d'un centre situé à peu près à Paris.

Il y a là une disposition qui se retrouve pour nombre de capitales également situées au centre d'un bassin tertiaire (Londres, Vienne, etc.).

La première conséquence de cet état de choses est la convergence facile des rivières et des voies de communications vers la capitale de notre pays, qui, d'autre part, est en communication ouverte par le nord-ouest avec la mer. Les couches des auréoles jurassiques et crétacées plongent presque partout régulièrement et en pente douce vers Paris, de sorte qu'en venant de l'extérieur on les rencontre, en quelque sorte, à rebroussepoil par leur tranche abrupte, en se heurtant à des escarpements successifs, dont le rôle dans la défense nationale a été maintes fois signalé. Au contraire, en quittant Paris, on gravit sans peine ces lignes de coteaux. C'est quelque chose d'analogue à ce qui se passe pour les Alpes et les Pyrénées, dont le versant français est très adouci, le versant étranger très escarpé.

La place de Paris, comme grande agglomération, ayant été ainsi déterminée par la topographie et l'érosion quaternaire y ayant préparé, à la rencontre des trois rivières de la Seine, de l'Oise et de la Marne, une large plaine, les conditions géologiques s'y sont, en outre, présentées particulièrement favorables pour fournir les matériaux de construction nécessaires à une grande ville : les pierres de taille du calcaire grossier, les pierres à plâtre de Montmartre, les terres

à tuiles des plateaux, les graviers des alluvions, les meulières, les grès à pavés des collines voisines, etc.

Si l'on veut comprendre les aspects pittoresques des environs de Paris, il faut se reporter à la coupe du tertiaire parisien qui a été donnée au ch. II [1]. Ainsi, la plupart des sites connus par leur beauté originale sont donnés par les grès stampiens (12), que les eaux ont découpés en rochers escarpés où poussent des bois, avec des vallées encaissées et sinueuses : (environs de Fontainebleau, vallée de Chevreuse, Mantois, etc.).

Dans ces régions, les assises de grès à pavés donnent de petites falaises; les sables des pentes entretiennent des châtaigniers; sur les sommets, parfois, la meulière de Montmorency (base du calcaire de Beauce, 13) forme de larges plateaux uniformes; les vallées s'enfoncent, par endroits, jusqu'aux marnes à huîtres de la base du stampien (11), et le sol imperméable qui en résulte entretient de beaux étangs.

Ailleurs, dans le Tardenois, entre Château-Thierry et Épernay, les plateaux sont encore souvent couverts par la meulière de Brie (10), au-dessous de laquelle affleurent des marnes gypsifères sans consistance (8 et 9), produisant des talus à pente douce et du calcaire grossier (5), facilement érodable : le tout recoupé par de nombreux vallons, où l'humidité entretient des prairies, tandis que les bois poussent sur les hauteurs.

La Brie française, qui s'étend de Corbeil à Lagny, forme une grande plaine où le limon est superposé à une couche de meulières de Brie (10) et de glaises

1. Page 32.

vertes imperméables (9), qui ont favorisé le développement des arbres et des petites mares.

La Beauce, qui lui succède à l'ouest, d'Étampes à Châteaudun, est également très plate, avec une mince couche de limon sur des calcaires lacustres aquitaniens (13). Le sol étant perméable, on a été obligé d'y forer des puits profonds pour s'alimenter d'eau et les fermes ont, par suite, été obligées de se grouper.

Ailleurs, entre Montargis et Sens, sur un plateau couvert d'argile à silex, l'argile plastique (3) retient de nombreux étangs.

Si nous nous éloignons assez de Paris pour sortir des couches tertiaires, qui occupent la partie centrale du bassin, nous changeons d'aspects en abordant les auréoles crétacées. Les formations secondaires, qui supportent le bassin tertiaire, se relèvent et apparaissent successivement au jour en partant des plus récentes pour arriver aux plus anciennes : leur bord extérieur constituant, ainsi que je le remarquais plus haut, un escarpement et une ligne de défense naturelle, dont on s'est servi en 1814.

La Champagne pouilleuse est une zone infertile et sèche, composée de craie blanche perméable, à la base de laquelle se trouve une nappe générale d'infiltrations, qui produit une série de sources le long des vallées; celles-ci sont alors remarquables par leur ligne de végétation, au milieu de laquelle se concentrent les maisons et qui offre le contraste le plus absolu avec l'aridité du plateau.

Plus loin vers l'est, l'infracrétacé, qui affleure dans ce que l'on appelle la Champagne humide et le Perthois, est, au contraire, par suite de la présence des niveaux argileux de l'albien, une zone riche et

humide, où le sol se partage entre les prés et les bois.

Si l'on continue vers l'est, dans la Lorraine, la Woëvre ou l'Argonne, c'est le jurassique qui succède au crétacé. La bande corallienne, formée par d'anciens récifs de polypiers entre Commercy et Stenay, donne des pierres de taille réputées; le sol y est généralement sec et la culture difficile, en sorte que le pays est couvert de bois.

Enfin le trias de la Lorraine est marqué, sur les marnes irisées et le muschelkalk, par de grandes plaines doucement ondulées, des prairies, des étangs, des bois, tandis que le grès bigarré des monts Faucilles amène des pentes plus raides et souvent des déserts de pierre.

Le granite affleure au delà de Remiremont, avec ses aspects caractéristiques de dômes, de forêts et d'étangs.

Ces exemples pourraient être aisément multipliés; réduits à une simple description et privés de cette illustration vivante que leur apporteraient sur place les paysages décrits, ils risqueraient vite de devenir monotones; mais, pour les compléter par soi-même, chacun pourra faire aisément, dans le pays qu'il habite, une petite expérience bien simple, consistant à acheter la feuille géologique au 1 : 80 000e relative à cette région et à l'emporter quelque temps dans ses promenades. Sans aucune connaissance géologique antérieure, il apprendra ainsi bien vite à connaître, d'après leur seul aspect extérieur, les niveaux géologiques principaux de la contrée, qui, dans un espace restreint, ont bien des chances pour conserver partout la même nature minéralogique et le même faciès. Il constatera alors,

par lui-même, combien est parfait l'accord entre le paysage et la géologie; bientôt la carte deviendra parlante pour son esprit et lui représentera d'avance l'aspect des endroits qu'il n'aura pas encore vus : en même temps, ces aspects s'éclairciront pour lui, parce qu'il en saura la cause; la géologie ne lui semblera plus une science aride et fastidieuse; mais l'histoire de la terre commencera à l'intéresser, et je me tromperais fort si ce petit résultat acquis n'ajoutait pas, pour son esprit, un charme de plus à la nature.

CHAPITRE X

Petit dictionnaire technique des termes géologiques et minéralogiques les plus usuels [1].

Mon but, comme je l'ai dit à diverses reprises, est bien moins, dans cet ouvrage, de donner des connaissances précises sur toutes les matières très étendues dont se compose la géologie, que de mettre à même de les acquérir en cas de besoin, sur tel ou tel point précis. Pour cela, la chose la plus utile m'a paru être d'établir un petit dictionnaire sommaire, qui permît de lire un livre ou une description géologiques sans être arrêté à chaque ligne par un mot incompréhensible ou sans être obligé de recourir à une encyclopédie en vingt volumes, qui, d'ailleurs, ne donnerait souvent pas l'explication demandée.

Le choix des mots, dans un tel dictionnaire, est nécessairement fort arbitraire, car la paléontologie compte plus de 4 000 noms d'espèces, la minéralogie presque

1. Dans la définition des étages géologiques, les nombres entre parenthèses (12) se rapportent au tableau chronologique des pages 296-297 et indiquent la place de l'étage dans ce tableau.

autant de minéraux; la géologie propre offre bien un millier de termes. Définir tous ces mots serait faire une encyclopédie géologique qui rendrait assurément de grands services, mais qui ne répondrait plus, en aucune façon, à mon programme[1]. Si l'on en choisit quelques-uns, on peut se demander pourquoi ceux-là et pas d'autres. La définition même de chaque mot offre des difficultés qui sautent particulièrement aux yeux quand il s'agit de termes paléontologiques. Il faut, en effet, éviter, par-dessus tout, de définir, comme cela arrive trop souvent dans les dictionnaires, au moyen de termes tout aussi incompréhensibles que le mot même dont il s'agit. Et, d'autre part, il faut pourtant bien supposer au lecteur certaines connaissances de chimie, d'histoire naturelle, de géométrie, sans lesquelles toute explication deviendrait impossible.

Je me suis efforcé de trouver à ces difficultés une solution pratique à peu près satisfaisante [2].

Quant à la succession des 60 étages et 100 sous-étages principaux, que distingue aujourd'hui, au minimum, la géologie stratigraphique et dont il faut, par suite, se charger la mémoire, avant d'acquérir la moindre notion vraiment utile ou intéressante, je crois qu'il suffit de la résumer dans le petit tableau sui-

1. Il existe quelques dictionnaires spéciaux comme le lexique pétrographique de Lœwinson Lessing (Congrès géologique de 1900).

2. A l'occasion, le dictionnaire renverra au texte du volume, dont il se trouvera donner ainsi, en quelque sorte, une table méthodique. On remarquera, dans cette seconde édition de mon travail, beaucoup de noms nouveaux dont l'addition m'a paru nécessaire. Signalerai-je en passant, pour ne pas être accusé moi-même de plagiat, que le dictionnaire semblable de la 1re édition a été aussitôt imité ou pillé de divers côtés.

et organique de formation contemporaine, à la base de certains terrains sableux.

Allure ordinaire des roches. — Voir page 81.

Alluvion. — Dépôts de terres, sables, graviers, galets, etc., apportés et laissés par le charriage des cours d'eau. On y exploite l'or, le platine, l'étain et diverses pierres précieuses, diamant, rubis, grenat, etc. (voir *placer*).

Alquifoux. — Synonyme ancien de galène.

Altérations aux affleurements. — Voir page 62.

Alvéoline. — Foraminifère (miliolide imperforée), en forme d'amande allongée, abondant dans certains niveaux tertiaires.

Amas métallifères. — Voir page 213.

Améthyste. — Variété de quartz violet (voir page 193).

Ammonite (vulgairement Corne d'Ammon). — Sorte de mollusque céphalopode marin, enroulé en spire plane, qui apparaît

Fig. 22. — *Ammonites* (*Ludwigia*) *Murchisonæ* du bajocien des environs de Niort (Deux-Sèvres). 1/3 de la grandeur naturelle.

Fig. 23. — *Ammonites* (*Cardioceras cordatus*, divésien ; Dives (Calv.) 1/2 gr.

dans le permien, se développe dans le trias et joue un rôle essentiel dans la faune jurassique et crétacée. Les espèces les plus récentes se déroulent de plus en plus. On y distingue un très grand nombre d'espèces, réparties entre 15 familles : (*arcestidés*, *cératidés*, *ariétidés*, *ægocératidés*, *stéphanocératidés*, *amalthéidés*, etc.). Les fig. 22 à 24 montrent diverses formes de ce fossile, qui est un des plus utiles pour reconnaître l'âge d'un terrain. La fig. 24 indique la disposition des chambres successives, dont l'animal n'occupe jamais que la dernière.

Ampélite. — Schiste argileux, chargé de matières charbonneuses, des terrains primaires (pierre noire des charpentiers).

Amphibole. — Silicate de magnésie, chaux et fer, contenant au moins autant de magnésie que de fer. Variétés : *trémoliet*, *actinote*, *hornblende*, *glaucophane*, etc.

Amphibolite. — Schiste à amphibole peu quartzeux des terrains primitifs ou cristallophylliens.

Amphigène (ou *Leucite*). — Voir *Feldspathoïdes*.

Amygdale. — Géode ou cavité dans les roches, remplie de

Fig. 24. — Ammonite. *Ammonites Pottingeri* du terrain dıvésıen de Dives (Calvados), 2/3 de la grandeur naturelle (échantillon scıé et poli).

minéraux cristallisés, spécialement de zéolithes ou de calcite. — Massif de roches, formant noyau au milieu des zones plissées.

Analcime. — Voir *Zéolithe*.

Analyses de roches. — Voir page 30.

Analyses de sols. — Voir page 119.

Analyses de terre végétale. — Voir page 44.

Analyses de végétaux. — Voir page 123.

Ananchytes. — Voir Echinoderme et fig. 33, p. 313.

Andalousite. — Silicate d'alumine; une variété impure a souvent cristallisé en prismes (*mâcle* ou *chiastolite*) dans des schistes métamorphiques, dits maclifères.

Andésite. — Roche neutre éruptive récente, dont la pâte apparaît au microscope formée de microlithes d'oligoclase, les

grands cristaux étant du feldspath, du mica noir, de l'amphibole, du pyroxène, etc. Cette roche a souvent été confondue avec le trachyte.

Angiospermes. — Embranchement botanique subdivisé en *monocotylédones* (palmiers, etc.) et *dicotylédones* (chênes, peupliers, hêtres, ormes, etc.). Végétation à feuilles caduques, apparue à la fin du jurassique (31).

Angoumien (d'Angoulême). — Sous-étage turonien (37).

Anhydrite. — Sulfate de chaux non hydraté (par opposition au gypse), ordinairement en masses blanches fibreuses ou compactes, rappelant alors l'aspect du marbre (voir page 184).

Ankérite (ou Spath brunissant). Dolomie ferrugineuse.

Anorthite. — Feldspath basique et calcaire (silicate d'alumine et de chaux), tenant jusqu'à 19 0/0 de chaux, fréquent dans les roches éruptives basiques.

Anthracifère. — Ancien nom de l'étage carbonifère dinantien (11). Le *culm* est son faciès continental ou côtier.

Anthracite. — Charbon minéral, très riche en carbone (87 à 94 0/0), amorphe, fragile, sec, à cassure conchoïdale et d'un éclat résineux (voir pages 180 et 249).

Anticlinal. — Dans un terrain plissé, les voûtes ou saillies (*a*) se nomment anticlinaux ou selles; les dépressions (*s*), *synclinaux* ou thalwegs; si les deux plongements du pli sont dans le même sens (*i*), il est dit *isoclinal*, *renversé* ou *couché*; s'il est resserré à la base et épanoui en gerbe au sommet (*e*), il est dit en *éventail*. Enfin l'on appelle *pli monoclinal* une inflexion (*m*) raccordant des couches horizontales (fig. 25; voir aussi, p. 38).

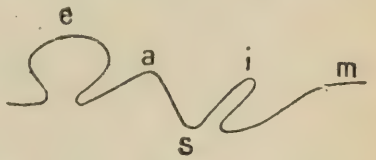


Fig. 25. — Croquis montrant les diverses formes des plissements de terrains en coupe verticale.

Antimoine (Gisements d'). — Voir pages 65, 188, 257.

Apatite. — Phosphate de chaux (avec 5 à 7 0/0 de fluorure de calcium), cristallisant en prismes hexagonaux; couleur ordinairement jaune, rosée ou verdâtre, rarement bleue (voir p. 182 et 244).

Aplite. — Granulite à grain très fin, saccharoïde.

Apophyllite. — Voir *Zéolithe*.

Aptien — (de Apt, Vaucluse). Étage infracrétacé (34).

Aquilonien — (de *Aquilo*, Nord). Sous-étage portlandien (31).

Aquitanien — (de Aquitaine). Étage miocène (48).

Aragonite. — Carbonate de chaux (différent de la calcite par son mode de cristalisation rhombique).

Aralocaspien. — Équivalent local du Pontien (53).

Ardoise. — Schiste métamorphique, remarquable par sa division facile en plaques minces, la finesse, l'homogénéité et la compacité de son grain (voir page 243).

Arène granitique. — Sable quartzeux, résultant de la décomposition sur place du granite à la surface du sol et de la disparition du feldspath par kaolinisation (voir page 55).

Argent (Gisements d'). — Voir pages 69, 189, 259.

Argent noir. — Antimonio-sulfure d'argent (polybasite et psaturose, ou stéphanite).

Argent rouge. — Antimonio ou arsénio-sulfure d'argent (argyrythrose et proustite).

Argile. —. Silicate d'alumine hydraté, comprenant, comme variétés : le *kaolin*, ou terre à porcelaine; l'*argile plastique*; la *terre à foulon*, ou *argile smectique*, etc. L'argile plastique sert à la fabrication des poteries; elle se pétrit facilement, se réduit à l'air, est infusible et donne au feu la terre cuite. La *terre glaise* en est une variété impure, mélangée de calcaire. Quand la proportion de calcaire varie de 15 à 50 0/0, on a une *marne*. L'argile agglomérée en une roche dure par de la silice à l'état gélatineux (c'est-à-dire soluble dans les alcalis) forme la *gaize*. Le mélange inconsistant d'argile ferrugineuse avec des particules quartzeuses très fines donne le *limon*, ou *lehm*, qui passe au *loess* en se chargeant de chaux. L'argile est abondante dans les terrains superficiels, où l'action des eaux de pluie infiltrées a pour effet de l'appauvrir progressivement en chaux, quand elle a commencé par en contenir. L'*argile à silex*, résultant en grande partie de la destruction de calcaires à silex, couvre beaucoup de plateaux en France. La dissolution des calcaires donne également l'*argile rouge* des cavernes. De l'argile se précipite dans les parties tranquilles des cours d'eau ou des lacs. Une argile ayant subi un commencement de cristallisation par métamorphisme passe à un *schiste* (voir page 235).

Argovien — (de Argovie, Suisse). Sous-étage oxfordien (28).

Argyrose. — Argent sulfuré, couleur gris de plomb, très malléable et se coupant au couteau.

Arkose. — Grès plus ou moins consistant, formé surtout de grains de quartz et de feldspath.

Artésien (**Puits**). — Puits foré jusqu'à une nappe d'eau profonde, emmagasinée sous pression dans une strate poreuse en fond de bateau, comprise entre deux strates imperméables et donnant de l'eau jaillissante (voir, plus haut, p. 154 et fig. 13).

Artinskien — (de Artinsk, Oural). Étage permien (14), équivalent de l'autunien.

Asphalte. — Calcaire imprégné de bitume, dans tous les

interstices de ses grains de calcite; réduit en poudre et comprimé à chaud, il se moule et durcit en refroidissant; mélangé à chaud avec du bitume, il donne le mastic asphaltique (voir page 247).

Assise. — Groupement de plusieurs *couches*, *strates*, ou *horizons* géologiques, marquant un épisode déterminé dans l'histoire de la sédimentation d'une région. Plusieurs assises forment un *étage* qui correspond à une époque; plusieurs étages, un *système* correspondant à une grande période d'un caractère général dans l'histoire de la terre. Les systèmes sont, à leur tour, les subdivisions des quatre *groupes*, primaire, secondaire, tertiaire, quaternaire, entre lesquels on est convenu de diviser cette histoire de la terre. Le synchronisme entre

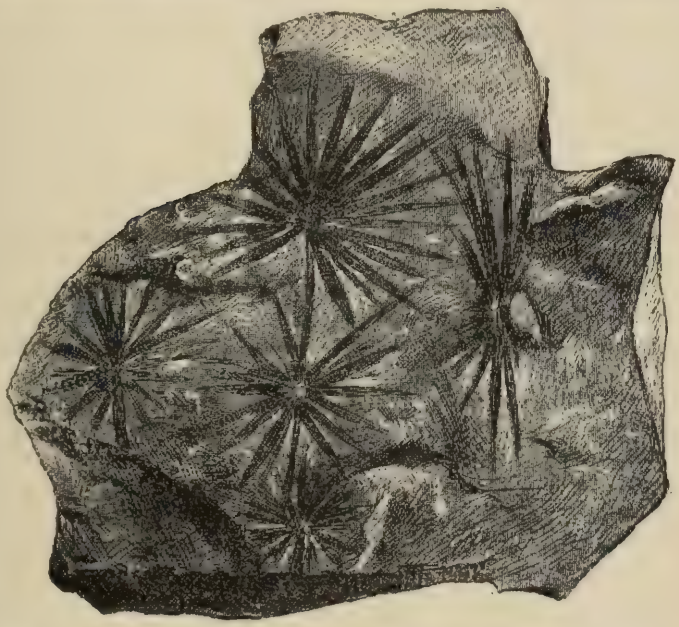


Fig. 26. — *Astérophyllite* des schistes houillers de Nœux-les-Mines (Pas-de-Calais).

les diverses assises est surtout fondé sur la considération des animaux de haute mer, dont on y retrouve l'empreinte.

Associations minérales. — Voir page 197.

Astarte. — Bivalve (voir *Lamellibranche*), particulièrement développé à la partie supérieure du jurassique.

Astartien (de Astarte). — Sous-étage séquanien en Franche-Comté (29).

Astérophyllite. — Plante de l'époque houillère (fig. 26).

Astien (de Asti, Piémont). — Étage pliocène (55).

Atoll. — Récif corallien, entourant une lagune intérieure.

Aturien — (de l'Adour). Étage sénonien (39).

Augite. — Variété de pyroxène noire ou verte, contenant jusqu'à 8 0/0 d'alumine, avec 50 0/0 de silice, 20 0/0 de chaux, 15 0/0 de magnésie et du fer.

Augitophyre. — Forme de porphyrite augitique, passant au mélaphyre par l'intervention du péridot.

Autunien — (de Autun, Saône-et-Loire). Étage permien (14).

Avant-pays. — Voir page 22.

Aven. — Puits naturel dans les plateaux des Causses, ayant jusqu'à 200 m. de profondeur, avec un diamètre souvent réduit à 1 ou 2 mètres.

Azoïque (**Terrain**). — Terrain sans aucune trace d'organismes, situé à la base des terrains sédimentaires et appelé aussi *primitif* ou *cristallophyllien*; il est formé de gneiss, micaschistes, leptynites, hälleflinta, amphibolites, cipolins, etc.

Azote. — Voir pages 111, 124, 140.

Azurite. — Carbonate de cuivre bleu (voir page 193).

Baculite. — Forme d'ammonite entièrement droite, caractéristique du supracrétacé.

Bajocien — (de Bayeux, Calvados). Étage médio-jurassique (25).

Barrages. — Voir page 136.

Barrémien — (de Barrême, Basses-Alpes). Étage infracrétacé (33).

Bartonien — (de Barton, Angleterre). Étage éocène (45).

Barytine. — Sulfate de baryte, minéral blanc ou jaunâtre très pesant (voir page 181).

Basalte. — Roche basique récente, compacte et noire, formée d'une pâte (paraissant amorphe à l'œil nu), où dominent, au microscope, les microlithes de labrador, d'anorthite et d'augite, avec de grands cristaux de feldspath, d'augite et d'olivine abondante. La teneur en oxyde de fer est de 15 0/0, avec 9 0/0 de magnésie, 12 0/0 de chaux, 3 à 5 0/0 d'alcalis (voir page 29).

Basique (**Roche**). — Voir *Acide*.

Bassin de Paris. — Voir pages 32 et 286.

Bathonien — (de Bath, Angleterre). Étage médio-jurassique (26).

Bathyale (zone). — Zone des mers comprise entre 200 et 1 000 m. de profondeur.

Bauxite. — Alumine hydratée et ferrugineuse, ne contenant la silice qu'à l'état de mélange et non de combinaison (ce qui la distingue des argiles); on l'utilise pour la fabrication de l'aluminium et des sels d'alumine.

Bedoulien — (de la Bedoule, Provence). Sous-étage aptien (34).

Bélemnite. — Coquille interne d'un céphalopode, pourvu d'une poche à encre (comme la sépia) et de 8 ou 10 bras armés de ventouses. C'est une baguette en forme de doigt, avec sillon longitudinal et entonnoir creux à la base (phragmocone) (fig. 27).

Berriasien — (de Berrias, Ardèche). Sous-étage portlandien (31).

Béryl (ou *Émeraude*). — Silico-aluminate de glucine, ordinairement cristallisé en prismes hexagonaux. Les variétés vertes sont l'*émeraude* : les bleues, roses ou jaunes, le *béryl*; l'*aigue marine* est une variété vert bleuâtre de Sibérie.

Bétoire. — Entonnoir rempli d'argile à silex dans les calcaires de Normandie.

Bilobite. — Empreinte d'origine problématique, très fréquente dans certains grès siluriens : probablement la piste d'un ver ou d'un crustacé; regardé parfois aussi comme une algue.

Biotite (ou *Mica noir*). — Voir *Mica*.

Biréfringence. — Propriété qu'ont certains cristaux de diviser en deux rayons distincts les rayons lumineux qui les traversent.

Bitumineux (Schiste). — Schiste imprégné d'hydrocarbures, donnant par la distillation une huile minérale analogue au pétrole (voir page 248).

Bivalve, ou lamellibranche. — Coquille, formée de deux valves articulées suivant une charnière dorsale (dont la forme est un élément essentiel de classification). Les moules appartiennent à cette classe de mollusques.

Fig. 27. — *Belemnites brevis* du sinémurien de Semur (Côte-d'Or), 1/2 gr.

Blackband. — Couche de minerai de fer charbonneux dans le carbonifère anglais.

Blende. — Sulfure de zinc, formant un des principaux minerais de zinc (teneur 66,9 0/0). Ce minerai est formé de masses de cristaux bruns, jaunes, noirs, parfois verts, souvent un peu transparents. Il y a mélange fréquent avec la galène et la pyrite (voir pages 191 et 258).

Boghead. — Houille à gaz, passant au schiste bitumineux et riche en huile minérale.

Bohémien. — Nom d'abord proposé pour le gothlandien.

Bonebed. — Lit à ossements.

Bononien — (de *Bononia*, Boulogne). Sous-étage portlandien (31).

Borax. — Borate de soude, blanc ou grisâtre (voir page 181).

Boulderclay. — Argile à blocs erratiques d'origine glaciaire, dans le nord de l'Angleterre.

Brachiopode. — Coquille fossile. Classe de vers ciliés (voir

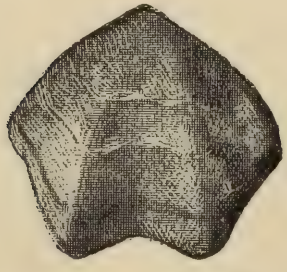
ce mot) enfermés dans une coquille à deux valves inégales avec appendices buccaux, comprenant les *spirifer* et *productus* des terrains primaires, les *térébratules* et *rhynconelles* du jurassique, etc. Ils apparaissent dès le cambrien et disparaissent presque complètement avec le tertiaire (fig. 28 et 29).

Brèche. — Roche formée de fragments anguleux réunis par un ciment, variété de conglomérat.

Brewstérite. — Voir *Zéolithe.*

Briques. — Voir page 235.

Bryozoaires. — Classe de vers ciliés de petite taille, vivant par colonies, et simulant les apparences des polypiers; mais



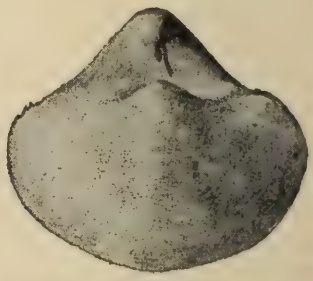


Fig. 28 et 29 — Brachiopodes.

Terebratula quadrifida du Charmouthien de Caen (Calvados), 2/3 gr. *Spiriferina Hartmanni* du Charmouthien de Vire (Calvados), 3/4 gr.

ayant deux ouvertures distinctes à la cavité stomacale. Leurs loges ou tubes forment presque entièrement certains terrains.

Burdigalien (de *Burdigala*, Bordeaux). — Étage miocène (49).

Caillasses. — Couches lacustres ou saumâtres dans le calcaire grossier éocène du bassin de Paris, présentant des calcaires compacts et crayeux, des lits de silex carié, des marnes et du gypse.

Caillou du Rhin. — Voir page 179.

Calamine. — Carbonate et silicate de zinc (52 0/0 de zinc dans le carbonate, ou smithsonite); minerai ordinaire de zinc, se présentant en masses amorphes, concrétionnées ou translucides de couleurs variables (voir pages 184, 193 et 258).

Calamite. — Plante carbonifère voisine des equisetum actuels, mais de grande taille (embranchement des cryptogames vasculaires), dont on trouve fréquemment les troncs, divisés par des sutures horizontales.

Calcaire. — Terrain sédimentaire composé de carbonate de chaux, avec une proportion variable de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. Les êtres organisés jouent un rôle essentiel

dans la formation des terrains calcaires; ils fixent la chaux dissoute dans l'eau et celle-ci s'accumule dans leurs débris. Le carbonate de chaux peut également résulter d'une précipitation chimique, soit par dégagement d'une partie de l'acide carbonique du bicarbonate, soit par action du carbonate d'ammoniaque sur un sel de chaux. Les calcaires, facilement attaquables aux acides, se décomposent près de la surface du sol et laissent un résidu d'argile rouge. Les calcaires coralliens ont été construits par des coraux, ou sont formés de leurs débris ressoudés. Les calcaires oolithiques sont composés de petits grains ellipsoïdaux à écailles concentriques (voir pages 26, 134, 145, 239).

Calcédoine. — Mélange intime de silice amorphe et de quartz cristallisé. La *cornaline*, la *sardoine*, le *jaspe* en sont des variétés.

Calcéole. — Madrépore (cœlentéré) du dévonien, en forme de pantoufle (fig. 30).

Fig. 30. — *Calceola sandalina*, polypier bivalve des schistes dévoniens de Han-les-Malades (Ardennes).

Calcite. — Carbonate de chaux, présentant plus de 170 formes cristallines dérivées du rhomboèdre. Le *spath d'Islande* est une variété de calcite. Celle-ci forme également les marbres (voir page 179).

Calédonien (Plissement). — Plissement d'âge silurien, marqué en Ecosse, en Norvège, en Russie et dans le nord des États-Unis (voir *Hercynien* et *Huronien*).

Callovien (de Kalloway). — Étage supra-jurassique (27).

Calymène. — Forme de trilobite (voir *Trilobite*).

Cambrien (de Cambria, Pays de Galles). — Étage silurien (2).

Campanien — (de la Champagne Charentaise). Sous-étage sénonien (39).

Cannel-coal. — Houille à gaz du Lancashire, à aspect mat, paraissant formée surtout d'algues.

Caprotine. — Fossile caractéristique de l'urgonien. Bivalve à valves inégales, fixé par l'une des valves (voisin des rudistes). L'animal habitait les récifs coralliens et les rivages des mers chaudes et formait des récifs, comme les polypiers constructeurs (groupe des Chamacés).

Carbonifèrien. — Étage paléozoïque (11 à 13).

Carcharodon. — Voir *Squale*.

Carentonien. — Nom proposé par Coquand pour le sommet du cénomanien (36).

Cargneule (ou *Carniole*). — Dolomie (c'est-à-dire calcaire magnésien), caverneuse et cloisonnée, de la région alpestre.

Carnien. — Sous-étage tyrolien du trias (19), d'après Mojsisovics (terme abandonné).

Carte agronomique. — Voir page 129.

Carte géologique de France. — Voir page 84.

Cartennien. — Miocène inférieur d'Algérie (d'après Pomel). Équivalent du Burdigalien (49).

Cassitérite. — Bioxyde d'étain (minerai ordinaire d'étain) en cristaux noirs ou bruns (système quadratique), ou en masses amorphes. Contient 78,67 p. 0/0 d'étain (voir p. 256).

Catavothre. — Gouffre naturel en Grèce.

Célestine. — Sulfate de strontiane, d'un blanc passant souvent au bleuâtre (d'où son nom).

Cénomanien (de *Cénomanum*, le Mans). — Étage supracrétacé (36), comprend, de bas en haut, d'après Coquand : Rotomagien, gardonien, carentonien.

Céphalopode. — Mollusque symétrique, pourvu en général d'une coquille divisée par des cloisons, ou chambres, dont l'animal n'occupe que la dernière, et présentant des tentacules à la tête et autour de la bouche. Les ammonites et les bélemnites sont des céphalopodes très abondants et caractéristiques. Parmi les animaux vivants, l'argonaute rappelle l'ammonite; la seiche, la bélemnite.

Fig. 31.—*Cerithium denticulatum* du calcaire grossier d'Arcueil (Seine), gr. nat.

Cératites. — Forme d'ammonite caractéristique du trias.

Cérithe. — Gastéropode en forme de cône très allongé plus ou moins orné, ayant habité les mers chaudes près des côtes et les estuaires. Très abondant et formant un très grand nombre d'espèces dans le tertiaire (fig. 31).

Cérusite. — Carbonate de plomb, tenant 77,3 p. 0/0 de plomb (voir pages 184 et 258).

Chabasie. — Voir *Zélithe*.

Chaille. — Rognon siliceux dans les calcaires jurassiques, ayant parfois pour noyau un crustacé. Ces rognons, d'abord formés de calcaire siliceux quand ils sont en profondeur, se transforment peu à peu à l'air en silex, souvent à centre pulvérulent.

Chalcopyrite (ou *Pyrite de cuivre*). — Sulfure de cuivre et de fer, d'un jaune d'or foncé, à éclat métallique, tenant 32 à 34 p. 0/0 de cuivre.

Chalcosine. — Cuivre sulfuré en masses noires, qui se coupent au couteau; contient 79,8 p. 0/0 de cuivre (voir pages 195 et 258).

Chapeau de fer. — Couche d'oxyde de fer, recouvrant certains filons ou amas métalliques et produite par la décomposition à l'air du sulfure de fer. Passe pour un signe favorable chez les mineurs (voir page 65).

Chara. — Algue verte, dont les petites graines, sphériques ou ovales, très fréquentes dans certains terrains, caractérisent un faciès d'eau douce.

Charbon minéral. — Voir pages 180 et 249.

Charmouthien — (de Charmouth, Dorsetshire). Etage liasique (23).

Chaux. — Voir pages 105, 127, 239.

Cheire. — Surface hérissée et couverte de scories d'une coulée de laves.

Chlorite. — Minéral feuilleté et flexible, analogue au mica, mais sans élasticité, de couleur verte.

Chondrite. — Empreinte de fucoïdes dans les schistes jurassiques.

Chott. — Bassin d'évaporation salin dans le Sahara, dont les eaux paraissent provenir de grandes pluies quaternaires.

Christianite. — Voir *Zéolithe.*

Cidaris. — Forme d'oursin encore vivant dans les mers chaudes, de forme ronde, avec de gros tubercules portant de fortes baguettes.

Ciments. — Voir page 239.

Cinabre. — Sulfure de mercure (minerai ordinaire de mercure), rouge, volatil (poids spécifique, 8), tenant 86,2 0/0 de mercure (voir pages 190 et 259).

Cinérite. — Tuf à grain fin, de couleur claire, grise, blanche ou jaunâtre, formé de cendres feldspathiques agglutinées.

Cipolin. — Calcaire marbre métamorphique, généralement micacé ou talqueux, du terrain primitif.

Clastique. — Formé d'éléments brisés. Terrain clastique s'emploie pour terrain détritique.

Clivage. — Faculté que possède un cristal de se diviser aisément suivant une ou plusieurs directions et de donner ainsi des lamelles parallèles. Le mica, le gypse, la calcite se clivent très aisément.

Cluse. — Coupure transversale aux plissements du Jura.

Cobaltine. — Voir page 187.

Coblentzien — (de Coblentz, Prusse Rhénane). Étage dévonien (6).

Colmatage. — Voir page 160.

Combustibles minéraux. — Voir *Charbon* et *Houille.*

Conchoïdale (**Cassure**). — Cassure en forme de conque (ou godet) de certaines roches compactes.

Concordance de stratification. — Des couches sont dites concordantes quand leurs surfaces de division sont exactement parallèles. Elles sont discordantes, quand les plans de division de la série supérieure forment un angle avec ceux de la série inférieure. Une discordance entre deux étages indique un mouvement du sol entre les deux époques qu'ils caractérisent et peut servir de repère dans l'histoire de la terre (voir fig. 1, p. 20).

Concrétion. — Dépôt formé par couches successives de précipitations chimiques, soit sur des parois solides, comme c'est le cas dans les filons métallifères, soit autour d'un noyau minéral ou organique, comme certains nodules de silex, de calcaire, de phosphate, etc. (voir page 195).

Conditions de dépôt. — Voir page 13.

Cône de déjection. — Amas de détritus conique, formé par un torrent à son débouché dans une vallée assez large pour que sa vitesse s'y amortisse.

Congérie. — Lamellibranche très abondant dans les formations saumâtres du miocène autrichien.

Conglomérat. — Agglomération de fragments anguleux ou arrondis, plus ou moins soudés ensemble.

Coniacien — (de Cognac). Sous-étage du sénonien inférieur (38).

Conifère. — Végétal produisant des fruits en forme de cône, comme le pin, l'araucaria, le cyprès. Le plus ancien araucaria est la walchia du houiller supérieur; le pin apparaît en Europe dans le néocomien; le sapin et le cèdre dans le jurassique.

Contact (**Gîtes de**). — **Voir page 205.**

Corallien. — Ancien nom d'un étage jurassique créé par d'Orbigny et comprenant surtout du séquanien (29).

Coral-rag. — Conglomérat de débris de coraux anguleux ou arrondis sur le bord d'un récif corallien.

Coraux. — Polypes ayant la faculté de sécréter un squelette calcaire, sur lequel s'élève peu à peu l'animal vivant (Polypiers, Hydraires et Bryozoaires). Ces squelettes calcaires forment les récifs coralliens.

Cordiérite (ou *Dichroïte*). — Silicate de magnésie, alumine et fer, abondant dans certains gneiss. La *pinite* en est une variété amorphe.

Cordon littoral. — Levée de sable et de limon, formée par les vagues en travers de l'estuaire d'un fleuve et tendant à le fermer.

Corindon. — Alumine cristallisée, formant le saphir, le rubis, la topaze orientale et l'émeri (voir page 193).

Corne (ou *Hornfels*). — Pétrosilex d'aspect corné, rouge ou vert, produit par le métamorphisme de schistes anciens.

Corrosion. — Action destructive et désorganisante exercée par des réactifs chimiques. Peut s'opposer théoriquement à l'érosion mécanique.

Coupes géologiques. — Voir page 78.

Crag. — Crag noir : miocène marin supérieur d'Anvers; — crag blanc ou corallin et crag rouge, au-dessus du crag blanc; niveaux du pliocène anglais : marnes et sables.

Craie. — Calcaire blanc friable et traçant, formé de débris organiques (protozoaires ou microphytes). En se chargeant d'argile, la craie devient marneuse; elle est noduleuse, quand elle est durcie par places. Souvent elle contient du phosphate de chaux ou de la glauconie. La *craie tuffeau* de Touraine forme le turonien (37; voir pages 60, 134, 147). — *Craie glauconieuse* ou cénomanien (36). — *Craie marneuse* ou turonien (37). — *Craie blanche* ou sénonien (38, 39).

Cran de retour. — Grande faille dans le bassin houiller franco-belge.

Cratère. — Orifice en forme d'entonnoir au sommet d'un volcan, l'appareil extérieur de celui-ci étant formé par l'amas conique des matériaux rejetés.

Crétacique — (de *creta*, craie). Système secondaire (32 à 40).

Cristal de roche. — Voir page 179.

Cristallite. — Indice cristallin dans une substance vitreuse : on distingue les *globulites* (en forme de globules), les *longulites* (en bâtons), les *trichites* (pareils à des amas de cheveux).

Cristallophyllien (Terrain). — Terrain à la fois cristallin et stratiforme à la base des terrains sédimentaires, appelé aussi terrain primitif (gneiss, micaschistes, leptynites, etc.). Son origine paraît due à un métamorphisme de terrains sédimentaires.

Cubage d'un gisement. — Voir pages 199, 212.

Cuivre (Gisements de). — Voir pages 67, 187, 189, 257.

Cuivre gris. — Antimonio-sulfure ou arsénio-sulfure de cuivre (voir *Panabase* et pages 189, 257).

Culm. — (Voir *Anthracifère*). Étage carboniférien (11).

Cuprite. — Oxydule de cuivre, souvent rouge (voir page 191).

Cycadée. — Classe de végétaux phanérogames, voisine de celle des conifères, qui apparaît dans le houiller, se développe dans le jurassique et disparaît avec le crétacé.

Cyrène. — Lamellibranche d'eau douce ou d'eau saumâtre.

Dacite. — Andésite quartzifère, contenant de la silice libre dans la pâte (traînées pétrosiliceuses, opale, tridymite, etc.).

Dalle. — Nom employé pour certains terrains divisés en plaques : dalle cambrienne (?) des Pyrénées, dalle nacrée bajocienne du Jura, etc.

Danien — (de *Dania*, Danemark). Étage supra-crétacé (40).

Débit des sources. — Voir page 146.

Décalcification. — Voir pages 54 et 60, fig. 5 et 6.

Degré géothermique. — Profondeur dont il faut s'enfoncer verticalement dans la terre pour constater une augmentation de température d'un degré centigrade.

Densité des minéraux. — Voir page 193.

Dentelliforme (groupement), où plusieurs cristaux de feldspath à orientation quelconque englobent un autre minéral à formes dentelées (pyroxène, amphibole) et remplissent, en quelque sorte, les *jours* de sa dentelle. C'est l'inverse du groupement ophitique. Les groupements à étoilements sont dits *kélyphitiques*.

Désagrégation physique. — Voir page 54.

Dévonien — (du Devonshire, Angleterre). Système primaire (5 à 10).

Diabase. — Roche basique, formée d'un mélange cristallin, à grain généralement fin, de feldspath plagioclase et de pyroxène augite. Passe facilement aux ophites et aux porphyrites. La couleur verte de la roche l'a fait appeler *grünstein* et *greenstone*.

Diaclase. — Cassure intérieure d'une roche, indépendante des phénomènes de dislocation généraux et n'amenant pas de rejet comme les failles (voir page 40).

Diallage. — Forme de pyroxène en lamelles dans les euphotides, gabbros, serpentines.

Diamorphisme. — Voir *Endomorphisme*.

Diatomées. — Algues siliceuses microscopiques, formant, par leur réunion, des terrains purement siliceux à grain très fin (*tripoli*, ou *terre à infusoires*).

Dicotylédone. — Plante dont la graine a deux cotylédons, comme la plupart de nos arbres : acacia, figuier, saule, chêne, vigne, etc., tandis que le palmier est monocotylédone. Les monocotylédones et dicotylédones apparaissent seulement à la base du crétacé.

Différenciation des magmas. — Travail chimique de séparation dans les éléments d'un bain en fusion, supposé situé en profondeur sous une région volcanique, ayant pour effet, d'après une théorie récente, de donner lieu successivement à des roches de composition analogue, mais de plus en plus acides.

Diluvium. — Nom général, autrefois appliqué à tous les dépôts pléistocènes (quaternaires) produits par le travail des cours d'eau.

Dinarien. — Équivalent du virglorien (18).

Dinantien (de Dinant, Belgique). — Étage carboniférien (11).

Diorite. — Roche basique, formée d'un mélange cristallin de feldspath plagioclase et d'amphibole, avec du mica. Souvent confondue avec la diabase sous le nom de grünstein.

Direction d'un filon. — Voir *Filon.*

Discordance de stratification. — Voir *Concordance.*

Dislocation. — Cassure, ou système de cassures, produite dans une région par une action mécanique plus ou moins ancienne, plus ou moins générale ; comprend notamment les failles, filons et diaclases.

Disthène. — Silicate d'alumine, généralement en baguettes aplaties transparentes, blanches ou bleues, dans les schistes cristallins.

Divésien — (de Dives, Calvados). Sous-étage callovien, c'est-à-dire supra-jurassique (27).

Dogger. — Médio-jurassique (voir *Malm*). — Équivalent du jura brun de Léopold de Buch.

Dolérite. — Équivalent tertiaire des diabases (plagioclase et augite, parfois avec olivine).

Dolomie. — Carbonate de chaux et de magnésie (24 0/0 de magnésie dans les cristaux), plus rude au toucher et moins rapidement attaquable aux acides que le calcaire. — Constitue des couches très considérables (voir pages 27 et 61).

Dominante (en agriculture). — Voir page 123.

Domite. — Sorte de trachyte très siliceux, avec beaucoup de lamelles de tridymite.

Dordonien. — Équivalent du Maestrichtien (sénonien supérieur, 39).

Drainage. — Voir page 160.

Druse. — Cavité incrustée de minéraux cristallisés.

Dunite. — Voir *Péridotite.*

Dureté des minéraux. — Voir page 194.

Dyke. — Large filon de roche éruptive, formant souvent une saillie sur le sol (en anglais, filon stérile).

Eau de carrière. — Voir page 133.

Échinoderme. — Animal rayonné autour d'un centre, à la peau dure ou à la coquille hérissée de piquants (oursins, étoiles de mer ou astéries, encrines, etc. ; fig. 32 et 33).

Éclogite. — Roche formée de grenat et de pyroxène vert d'herbe, parfois avec disthène ou glaucophane.

Écume de mer. — Voir page 181.

Effondrement. — Phénomène par lequel une portion de l'écorce terrestre, encadrée de failles, s'enfonce à la suite de

dislocations ou de plissements et souvent est envahie par les eaux de la mer. C'est alors l'opposé d'une émersion.

Eifélien (de l'Eifel, Prusse Rhénane). — Étage dévonien (7).

Éléolithe. — Variété compacte de néphéline (feldspathoïde sodique) dans certaines roches, comme la syénite zirconienne.

Elvan. — Variété compacte, porphyrique, de granite à mica blanc, passant à la *microgranulite* en Cornwall. Roche à grands cristaux de quartz et de rare mica noir, dans une pâte qui peut apparaître tout à fait compacte dans les

Fig. 32 et 33. — **Echinodermes** (2/3 gr.).

Toxaster complanatus, néocomien. — *Ananchytes gibba*, craie blanche (senonien, Beauvais (Oise).

elvans cornés, mais se résoud alors en microgranulite au microscope.

Émaux. — Voir page 238.

Émeraude. — Silico-aluminate de glucine (voir *Béryl* et page 192).

Émeri. — Sorte de *corindon* grenu ou compact (mêlé de magnétite ou d'oligiste) employé pour le polissage.

Émersion. — Phénomène par lequel un continent se forme dans une région antérieurement submergée.

Emschérien (de Emscher, Westphalie). — Sénonien inférieur (38).

Enclave. — Fragment de roches anciennes, enclavé dans des roches éruptives, et ayant subi un métamorphisme spécial.

Encrine. — Echinoderme (crinoïde) ayant l'aspect d'un calice de fleur monté sur une tige, avec la bouche au centre du calice. Fossile très ordinaire du muschelkalk. Les crinoïdes

apparaissent dès le cambrien; un de leurs groupes, les pentacrines, est très développé dans le lias (fig. 34).

Endogène. — Se dit des roches proprement dites, formées par la consolidation de matières fluides cristallisées en profondeur, en dômes, en filons, en dykes, ou épanchées en coulées à la surface, par opposition aux roches *exogènes*, qui sont des produits de remaniements des précédentes, ayant formé les terrains et sédiments

Endomorphisme, ou métamorphisme endomorphe. — Action exercée sur une roche éruptive par le terrain encaissant. Une action semblable, produite immédiatement par les émanations qui accompagnent l'éruption, constitue le *diamorphisme*.

Engobage. — Voir page 236.

Engrais chimiques. — Voir pages 118 et 125.

Enstatite. — Minéral de même composition que le pyroxène, mais très riche en magnésie : (Fe,Mg) O,SiO^2, et cristallisé dans le système rhombique. Variétés : bronzite et hyperstène.

Fig. 34. — *Encrinus liliiformis*, du muschelkalk de Lunéville (Meurthe), 1/2 gr.

Entroque. — Organisme fossile se présentant sous la forme de cercles radiés (*trochos :* roue). Ce sont des sections de baguettes de crinoïdes et d'oursins qui forment entièrement certains calcaires dans le muschelkalk, le bajocien, etc.

Eocène — (de *eos*, aurore, et *kainos*, récent). Subdivision inférieure de l'éogène (41 à 46).

Eogène — (de *eos*, aurore, et *genos*, race). Système inférieur du tertiaire (41 à 48).

Éolien (Dépôt). — Dépôt formé par les vents.

Épaisseur réduite. — Voir page 222.

Épidote. — Silicate de chaux, alumine et fer, généralement cristallisé en baguettes vertes et résultant souvent d'une altération de l'amphibole (voir page 185).

Épigénie. — Formation de minéraux aux dépens de minéraux préexistants, qui souvent en épousent les formes cristallines par *pseudomorphose*.

Éponte. — Voir *Filon*.

Érosion. — Destruction mécanique, perte de matière subie par la terre ferme sous les influences atmosphériques, météoriques, etc.

Erratique (Bloc). — Bloc souvent anguleux, apporté par d'anciens phénomènes glaciaires.

Esquilleuse (Cassure). — Cassure en éclats semblables à des écailles, dont la pierre à fusil donne le type.

Étage. — Voir *Assise.*

Étain (Gisement d'). — Voir pages 65, 188, 256.

Euphotide. — Sorte de *gabbro* à gros grains, formé de plagioclase (smaragdite), diallage et hornblende.

Eurasie. — Ensemble de l'Europe et de l'Asie, considéré comme formant un seul continent.

Eurite. — Granulite à grain très fin, presque indiscernable à l'œil nu.

Évacuation des eaux. — Voir page 164.

Évaporation végétale. — Voir page 135.

Eventail (Structure en), — Voir *Anticlinal.*

Exogène. — Voir *Endogène.*

Exotique (Bloc). — Étranger par son origine à la région où on le trouve.

Fahlbande. — Zone broyée et pyritisée de terrains généralement schisteux, qui renferme souvent des minerais utiles.

Faïences. — Voir page 236.

Faille. — Cassure dans les roches ou les terrains, accompagnée d'un déplacement relatif des deux parties séparées, de sorte qu'une faille met souvent en contact anormal, à la surface, suivant une ligne droite, des terrains d'âge différent. Généralement, quand le plan de la faille est incliné, la partie supérieure, ou *toit*, a glissé sur la partie inférieure, ou *mur*: on trouve donc un terrain plus récent au toit qu'au mur. Si le toit a remonté sur le mur, la faille est dite *inverse*. Les failles jouent un rôle essentiel dans la formation des filons et des sources thermales (voir pages 37, 93, 220).

Falun. — Sable tertiaire, chargé de fossiles; les faluns de la Touraine sont helvétiens (50).

Famennien — (de la Famenne, Belgique). Étage dévonien (10).

Fausse source. — Voir pages 115, 143.

Feldspath. — Minéral jouant un rôle essentiel dans la formation des roches. C'est un composé de silice, d'alumine et de bases alcalines (potasse, soude), ou alcalino-terreuses (chaux, magnésie). Les alcalis dominent dans les feldspaths des roches acides, la chaux dans ceux des roches basiques. On distingue surtout l'*orthose*, feldspath potassique, et les *plagio-*

clases, qui comprennent l'*albite*, feldspath sodique, l'*oligoclase* et le *labrador*, feldspaths calco-sodiques, enfin l'*anorthite*, feldspath calcique (voir pages 185 et 237).

Feldspathoïdes. — Minéraux analogues aux feldspaths (différents par la proportion d'oxygène), comprenant la *leucite*, ou *amphigène*, silicate alumino-potassique, et la *néphéline*, silicate d'alumine et de potasse et soude.

Felsite. — Voir *Pétrosilex*.

Fer (Gisements de). — Voir pages 64 et 254.

Fer chromé. — Voir pages 185, 188.

Fer oxydulé (ou *Magnétite*). — Oxyde de fer Fe^3O^4, noir de fer, agissant sur l'aiguille aimantée. Minerai de fer très important, souvent en masses compactes comme un acier, parfois aussi montrant des cristaux octaédriques. Contient 72,40 0/0 de fer (voir pages 65, 185, 188, 254.

Fer titané (ou *Ilménite*). — Oxyde de fer et de titane, à rapprocher de l'oligiste.

Filon. — Dépôt de substances minérales dans une fissure de l'écorce terrestre. On distingue les filons de roches éruptives, ou *dykes*, qui paraissent avoir été formés par la consolidation d'une roche en fusion et les filons métallifères, qui ont été déposés par la circulation d'eaux chaudes, contenant divers réactifs en dissolution. Ces derniers ont pu se former par couches d'incrustations successives et affecter une allure *concrétionnée*. Un filon est souvent le remplissage d'une faille. On y trouve, outre les minéraux utiles, ou minerais, des minéraux considérés comme stériles, ou *gangues* : la gangue d'un filon pouvant devenir le remplissage utile, le minerai d'un autre. Un filon est défini par sa *direction* horizontale et son *inclinaison* suivant la ligne de plus grande pente. Il est compris entre deux *épontes*, dont il est souvent séparé par un joint, ou *salbande* (voir pages 186, 206, 218).

Fissilité. — Propriété qu'ont certains terrains, particulièrement des schistes et phyllades, de se découper suivant des plans parallèles, semblables à des plans de clivage.

Fluorine. — Fluorure de calcium (voir page 193).

Flysch. — Ensemble de sédiments gréseux et argileux, plus ou moins schisteux, souvent chargés d'algues et paraissant avoir été déposés dans des lagunes étroites le long de la chaîne alpestre. Le flysch alpin proprement dit est oligocène (47). Le même faciès descend ailleurs dans le supracrétacé.

Foraminifère. — Classe d'organismes marins (protozoaires), à coquille calcaire généralement formée de loges empilées et communiquant par un petit orifice (la forme extérieure pou-

vant rappeler celle des gastéropodes). Ces animaux sont presque tous petits, mais peuvent s'accumuler en quantités énormes; ainsi les nummulites (fig. 38, p. 327). La craie est formée surtout de foraminifères.

Forest bed. — Couche pliocène anglaise, superposée au *crag* et formée d'argile noire, avec beaucoup de débris de végétaux et de mammifères.

Fossiles. — Voir page 76.

Frasnien (de Frasnes, Belgique). — Étage dévonien (9).

Fucoïde. — Empreinte du cambrien, qu'on a rapportée à des traces de méduses.

Fusibilité des minéraux. — Voir page 195.

Fusuline. — Petit foraminifère (voisin des nummulites), en forme de fuseau, abondant dans le calcaire carbonifère.

Gabbro. — Roche granitoïde, formée de plagioclase et de diallage. L'association du plagioclase avec l'augite donne la diabase; avec l'enstatite, la norite; avec l'hypersthène, l'hypérite.

Gaize. — Voir *Argile*.

Galène. — Sulfure de plomb (minerai principal du plomb) tenant 85,6 p. 0/0 de plomb. Formé d'enchevêtrements de cristaux plus ou moins fins à clivage cubique très facile, à éclat métallique prononcé, à couleur gris bleu. Contient très fréquemment de l'argent (poids spécifique 7,5; voir pages 188 et 258).

Ganoïde. — Espèce de poissons cuirassés à nageoire caudale dissymétrique, qui apparaît dans le silurien (ordovicien) (3) avant tous les autres poissons. Beaucoup d'entre eux sont cartilagineux.

Gargasien (de Gargas, Vaucluse). — Sous-étage aptien (34).

Garumnien. — Équivalent du Danien (40).

Gastéropode. — Mollusque, qui se meut en rampant sur le ventre au moyen d'un plan musculaire contractile, fonctionnant comme un pied. Certains gastéropodes pulmonés vivent à l'air libre (escargots); d'autres respirent par des branchies, soit dans l'eau douce (paludine, limnée, etc.), soit dans l'eau de mer (porcelaine, cône, volute, haliotide [ou coquille de nacre], patelle, etc.).

Gault (ou *Albien*). — Étage infracrétacé (35), où se prépare, en Europe, la substitution aux sédiments détritiques des dépôts crayeux, qui commencent un peu après avec la transgression cénomanienne (36).

Gédinnien (de Gédinne, Belgique). — Étage dévonien (5).

Géosynclinal. — Voir page 18.

Géorgien (de Géorgie, Vermont, États-Unis). — Sous-étage cambrien (2).

Geyser. — Source jaillissante intermittente, en relation avec des phénomènes éruptifs et déposant de la silice hydratée. Les principaux geysers sont ceux d'Islande, de Nouvelle-Zélande et du Parc National aux États-Unis.

Gismondine. — Voir *Zéolithe.*

Gisements sédimentaires. — Voir pages 178, 209, 224.

Givétien (de Givet, Ardennes). — Etage dévonien (8).

Glaciers. — Voir page 49.

Glaise. — Voir *Argile.*

Glauconie. — Silicate hydraté de fer et de potasse, formant des grains verts dans certaines couches stratifiées. On désigne sous le nom de *craie glauconieuse* le cénomanien (36).

Glaucophane. — Amphibole en prismes d'un gris bleuâtre dans les schistes métamorphiques, l'éclogite, etc.

Globigérine. — Foraminifère perforé, formé d'une série de loges figurant une sphère dans l'ensemble. Organisme pélagique, apparaissant dès le trias et encore abondant aujourd'hui.

Globulaire (Texture). — Texture de roches porphyriques, où la pâte, confusément cristallisée, renferme des globules ou *sphérolites* (voir ce mot).

Glossopteris. — Fougère à grandes frondes simples, caractéristique du permien et du trias de l'Inde ou de l'Afrique australe.

Gneiss. — Élément fondamental du terrain dit primitif et résultat probable d'un métamorphisme direct sur d'anciens sédiments. Roche rubanée, contenant les mêmes éléments que le granite (feldspath, quartz et mica). Il y a tous les passages du gneiss au granite d'une part, de l'autre au mica-schiste. Le *gneiss rouge* est un gneiss granulitisé (voir page 28).

Gondwana. — Série sédimentaire homogène de l'Inde à *Glossopteris*, allant du permien ou même du carbonifère à la base du jurassique.

Gothlandien (de l'île de Gothland, Baltique). — Étage silurien (4).

Gour. — Cratère-lac en Auvergne. — Vasque de concrétion calcaire dans les grottes.

Granite. — Roche cristalline, formée de feldspath (orthose et plagioclase), de quartz et de mica noir. Accessoirement, le granite peut contenir de l'amphibole. Quand il renferme du mica blanc, il passe à la granulite (voir pages 29, 144, 157).

Granulite. — Terme ambigu employé en France et à l'étran-

ger dans des sens différents. Désigne en France un *granite à mica blanc* et à cristaux de quartz bien isolés.

Graphite (*Mine de plomb* ou *Plombagine*). — Variété de carbone formée à haute température; se trouve en grains ou en masses dans les terrains métamorphiques, la granulite, etc. (voir pages 180, 195 et 196).

Graptolithe. — Organisme des schistes primaires (hydrozoaire), vivant par colonies libres ou dressées dans la vase et représenté sur les schistes par des empreintes charbonneuses ou pyriteuses ;on trouve des graptolithes du cambrien à l'ordovicien sous forme de petites spires, ou de tiges denticulées d'un côté.

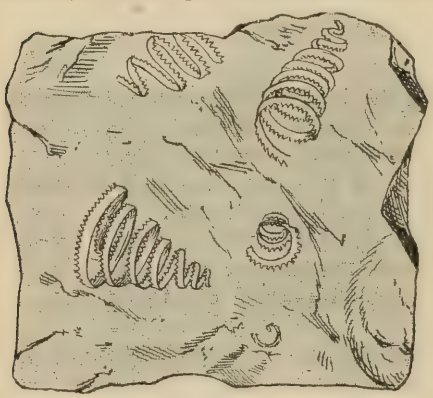


Fig. 35. — *Graptolithes* (*monograptus*) *spiralis*. (Barr.) (Koniaprus) du silurien supérieur (étage 4). Gr. nat.

Grauwacke.—Schiste, anciennement calcaire, dont le calcaire a disparu à la surface en laissant des cavités.

Greensand.—Grès vert anglais. Le grès vert inférieur est un faciès marin du barrémien (33), succédant au wealdien d'eau douce. Le grès vert supérieur est à la base de la craie (albien) (35).

Grenat. — Silicate d'alumine et de chaux, magnésie ou fer, dont l'aluminium peut être remplacé par du chrome ou du fer. Cristallise en dodécaèdres, souvent rouges, parfois noirs ou verts, dans les schistes métamorphiques et les granulites. Variétés : grossulaire, pyrope, almandin, mélanite, etc. (voir page 185).

Grès. — Terrain sédimentaire, formé de sable agglutiné, principalement composé de grains quartzeux, avec plus ou moins d'argile et de calcaire. Le mélange de feldspath en fait une *arkose* (voir page 27).

Grès cérames. — Voir pages 28 et 236.

Grès bigarré. — Subdivision inférieure du trias (17).

Griotte (Marbre). — Assise du dévonien supérieur des Pyrénées, formée de noyaux calcaires plus ou moins arrondis et entourés de schiste.

Grünstein. — Nom allemand de certaines diorites et diabases.

Gryphée. — Bivalve à valves inégales, la valve fixée au rocher très bombée, avec un crochet saillant et recourbé qui retombe sur l'autre valve plane. Ce type apparaît dans le lias (fig. 36).

Gymnosperme. — Embranchement botanique, dont les ovules ne sont pas enfermés dans une cavité close comme chez les *angiospermes*. Comprenant les conifères, les fougères, etc., ayant prédominé sur la terre du trias (17) à la fin du jurassique (31).

Gypse. — Sulfate de chaux hydraté, souvent cristallisé en

Fig. 36. — *Gryphea Cymbium*, du terrain charmouthien (Vendée), 1/2 gr.

fers de lance, souvent aussi en masses grenues, compactes ou fibreuses (voir pages 127, 181 et 242).

Gyroporelle. — Algue calcarifère, ayant joué un grand rôle dans la construction des massifs calcaires du trias.

Hälleflinta. — Roche rubanée très compacte du terrain primitif, formée de quartz et de feldspath, avec un peu de mica (variété de leptynite).

Hauterivien (de Hauterive, Doubs). — Sous-étage néocomien (32).

Haüyne. — Silicate analogue aux feldspaths, mais avec un peu d'acide sulfurique, en grains bleus dans certaines roches volcaniques. La *noséane* en est une variété.

Helvétien (de *Helvetia*. Suisse). — Sous-étage miocène (50).

Hématite. — Voir page 182.

Hercynien (Plissement). — Plissement d'âge carbonifère, qui a formé, dans toute l'Europe centrale, une chaîne analogue aux Alpes, dont les lambeaux disjoints sont la Bretagne, le Plateau Central, les Vosges, la Bohême, etc.

Hettangien (de Hettange, en Lorraine). — Étage liasique (21)

Heulandite. — Voir *Zéolithe.*

Hippurite (ou *rudiste*). — Grand bivalve marin à coquille épaisse, habitant les récifs et les rivages des mers chaudes. La valve fixe forme une sorte de cylindre cannelé, aminci à la base; l'autre est à peu près plate. Forme crétacée allant du turonien au danien (fig. 37).

Fig. 37. — *Hippurite.*

Holocristalline (Roche). — Roche entièrement cristalline, par opposition aux roches amorphes ou vitreuses. La structure holocristalline peut être reconnue au microscope, même dans la pâte de certaines roches, comme les microgranulites, qui semblent compactes à l'œil nu.

Horizon géologique. — Voir *Assise.*

Hornblende. — Variété d'*amphibole.*

Houille. — Combustible minéral, d'origine organique, à cassure brillante, renfermant 75 à 90 0/0 de carbone. On distingue les houilles grasses, demi-grasses et maigres suivant la proportion d'hydrocarbures, la quantité de gaz dégagés, la possibilité d'obtenir du coke (voir *Charbon* et pages 64, 180 et 249).

Humus. — Voir page 44.

Huronien (Plissement). — Plissement précambrien, ayant affecté le Canada et les régions polaires. L'étage huronien désigne la partie supérieure du terrain primitif américain (micaschistes, amphibolites, etc.) et probablement déjà le précambrien (voir *Laurentien*).

Hyalomicte. — Roche acide de quartz et de mica blanc; se nomme aussi *Greisen.*

Hydraire (ou *Hydroïde*). — Espèce animale construisant des récifs de coraux, et distinguée des polypes par l'absence de cloisons internes.

Hypérite. — Roche basique moderne, formée de plagioclase, hypersthène et parfois péridot.

Ilménite. — Voir *Fer titané.*

Inclinaison. — L'inclinaison d'une couche ou d'un filon se mesure suivant sa ligne de plus grande pente.

Incrustation. — Dépôt de précipitation chimique sur des parois inertes. Les filons métalliques sont, en général, des filons d'incrustation.

Infusoire. — Animalcule microscopique à carapace siliceuse (*diatomée*) ou calcaire, dans les eaux douces ou salées. Le tripoli est dit aussi terre à infusoires.

Intersertale (Structure). — Structure d'une pâte rocheuse à microlithes enchevêtrés.

Intrusion. — Pénétration d'une roche ignée, pouvant produire des épanchements horizontaux à apparence interstratifiée.

Irisées (Marnes). — Subdivision supérieure du trias. Équivalent du keuper ou tyrolien (19).

Irrigation. — Voir page 158.

Isoclinal. — Voir *Anticlinal.*

Isotherme (Ligne). — Ligne d'égale température à la surface du globe.

Jais. — Variété de lignite bitumineuse, susceptible d'être taillée et polie, utilisée en bijouterie. On en trouve dans le toarcien de Whitby, en Angleterre (24).

Jaspe. — Roche comparable au silex, formée d'argile très dure et silicifiée à colorations diverses.

Jurassique (de Jura). — Système secondaire (20 à 31).

Juvavien (de *Juvavo*, Salzbourg). — Étage supérieur du trias alpin (19).

Kaolin. — Argile blanche à porcelaine, produit de la décomposition du feldspath des roches (voir pages 56, 179, 237).

Kélyphitique. — Voir *Dentelliforme.*

Kersantite. — Roche granitique de mica noir et plagioclase allongé.

Keuper. — Voir *Irisées (Marnes)* (19).

Kimeridgien (de Kimeridge, Angleterre). — Étage suprajurassique (30).

Klippen. — Rochers déchiquetés, discontinus, d'un terrain au milieu d'un autre, par exemple de jurassique au milieu des terrains plus récents des Carpathes.

Labrador. — Variété de feldspath plagioclase.

Labradorite. — Roche basique à deux temps de consolidation, dont la pâte montre au microscope des microlithes de labrador, les grands cristaux pouvant être du plagioclase et de l'augite. Le basalte est souvent une labradorite à olivine. Les étrangers désignent également par labradorite une roche à grands cristaux, composée surtout de labrador.

Laccolite. — Intrusion de masses trachytiques dans les terrains sédimentaires de l'ouest américain. Désigne, par extension, les lentilles de roches en ignition, dont on suppose parfois l'existence en certains points profonds de l'écorce terrestre.

Ladinien. — Division inférieure du tyrolien (19).

Lamellibranche. — Mollusque aquatique, en général fouisseur ou fixé au sol, pourvu d'un manteau divisé en deux lobes et enfermé dans une coquille bivalve (exemples : huître, pecten, coquille de Saint-Jacques, cypris, cyrène, crassatelle, cardium, unio, lucine, vénus, pholadomie, pholade, etc.).

Landénien. — Groupement des étages thanétien (41) et sparnacien (42) de l'éocène. Correspond à peu près à l'ancien Suessonien de d'Orbigny.

Lapilli. — Petits cailloux formés de lave brisée, projetés par les volcans.

Lapis lazzuli. — Voir page 193,

Latérite. — Dépôt terreux rouge brique, formé dans les régions tropicales par la décomposition sur place des roches; équivalent au limon dans nos climats (voir page 57).

Laumonite. — Voir *Zéolithe.*

Laurentien. — Désignation de la partie inférieure du terrain primitif dans le nord de l'Amérique, formée de gneiss (voir *Huronien*).

Lave. — Roche en fusion, épanchée des appareils volcaniques. La lave n'est nullement une roche définie, mais peut, suivant les cas, se rattacher à telle ou telle roche éruptive, andésite, labradorite, basalte, etc.

Lehm. — Voir *Argile.*

Lepidodendron. — Arbre de l'époque carbonifère, de la famille des lycopodes (aujourd'hui représentés par de simples mousses; fig. 38).

Lépidolite. — Mica lithinifère rose lilas ou blanc d'argent.

Leptynite. — Roche zonée d'orthose et de quartz, généralement à grain très fin, constituant une sorte de granulite stratiforme, en bancs très abondants dans les terrains cristallophylliens. Les étrangers l'appellent souvent granulite.

Leucite. — Voir *Feldspathoïde.*

Levantin. — Formation d'eau douce ou saumâtre du miocène supérieur (pontien, 53) et du pliocène dans le Levant.

Lherzolite. — Roche basique, formée d'enstatite, péridot et pyroxène, souvent serpentinisée.

Liasien. — Ancien nom du *Charmouthien* (23) actuel.

Liasique (d'un mot anglais, dérivé de *layers*, strates). — Division inférieure du système jurassique (20 à 24).

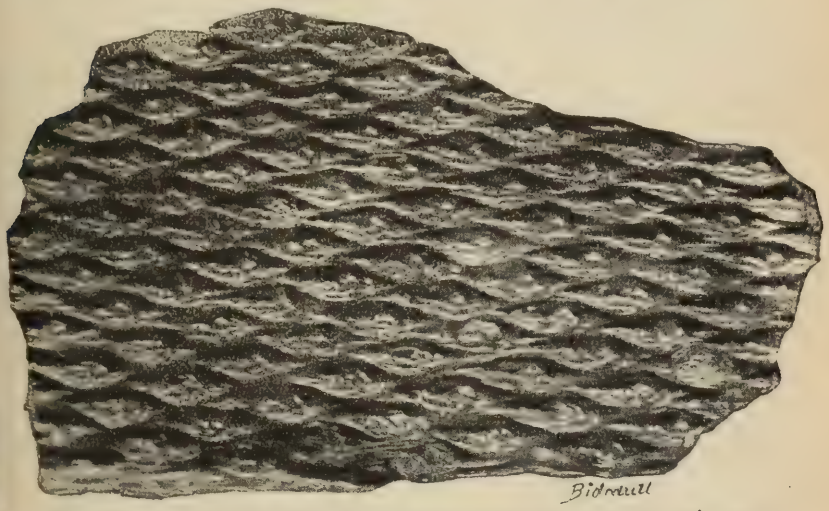


Fig. 38. — *Lepidodendron* des schistes houillers de Saint-Étienne (Loire), 1/4 de la grandeur nat.

Ligérien (de la Loire). — Sous-étage turonien (37).

Lignite. — Charbon compact, terreux, ligneux ou fibreux, moins riche en carbone que la houille (55 à 75 0/0), généralement formé de lits alternatifs d'une matière compacte, brune, bitumineuse, et d'une substance mate (voir *Charbon*).

Ligurien. — Ancienne dénomination du ludien (éocène, 46).

Limon. — Voir *Argile*.

Limonite. — Voir page 182.

Lithographique (Calcaire). — Calcaire présentant une compacité, une homogénéité, et une finesse de grain spéciales, avec une composition chimique déterminée (5 à 6 p. 0/0 de silice et d'argile), qui le rendent propre à recevoir un dessin lithographique (voir p. 241).

Lithologie (ou *Pétrographie*). — Science des roches.

Lithophage. — Mollusque perforant, qui fait des trous dans les bancs de calcaires émergés. La présence de ces trous dans une assise ancienne prouve donc une émersion hors de la mer,

jusqu'à l'époque caractérisée par le terrain qui la recouvre.

Lithothamnium. — Algue rouge, voisine des *nullipores* (voir ce mot), très abondante dans certains terrains d'eau douce.

Loess. — Voir *Argile* et page 59.

Ludien (de Ludes, Marne). — Etage du *gypse parisien*, autrefois classé dans l'éocène, aujourd'hui confondu dans le sannoisien oligocène (46).

Lumachelle. — Variété de calcaire, formée d'une agglomération de coquillages.

Lustrés (Schistes). — Niveau de schistes métamorphiques dans les Alpes, dont l'âge, longtemps discuté, est aujourd'hui rapporté au trias et au lias (17 à 24).

Lutétien (de *Lutetia*, Paris). — Étage éocène (44; voir page 34).

Maccalube (*Salse* ou *Volcan de boue*). — Petite colline d'argile, d'où s'échappent de l'eau salée et des hydrocarbures.

Macigno. — Grès argilo-calcaire (dans le crétacé et le flysch des Alpes).

Macle. — Cristal formé par l'association de deux individus cristallins, dont les réseaux ont une orientation différente. Les macles sont fréquentes dans les feldspaths, la calcite, la cassitérite, etc.

Macroscopique (Examen). — Examen des roches à l'œil nu ou à la loupe, par opposition à l'examen microscopique.

Madrépore. — Polypier constructeur, comprenant les tétracoralliaires paléozoïques et les hexacoralliaires, qui apparaissent avec le trias.

Maëstrichtien (de Maëstricht, Belgique). — Division du sénonien supérieur (39).

Magma. — Bain en fusion, dont dérivent les roches par une élaboration plus ou moins prononcée.

Magnétite. — Voir *Fer oxydulé*.

Magnétomètre. — Voir page 214.

Malachite. — Voir pages 192 et 257.

Malm. — Division allemande du Jura, correspondant au Jura blanc ou Jura calcaire de Léopold de Buch, c'est-à-dire au supra-jurassique, les divisions inférieures étant le lias et le dogger.

Manganèse (Gisements de). — Voir pages 68, 189, 256.

Marbre. — Calcaire cristallin, à grain plus ou moins fin, et teinté par des substances diverses, susceptible de poli (voir page 242).

Marcassite (ou *Pyrite blanche*). — Sulfure de fer, formant des boules dans la craie.

Marne. — Argile calcarifère, formée d'un mélange de calcaire et de divers silicates (voir *Argile*).

Matériaux de construction. — Voir pages 102 et 240.

Matériaux d'empierrement. — Voir page 101.

Mélaphyre. — Roche basique à deux temps de consolidation, très analogue au basalte, mais plus siliceuse : la pâte formée de microlithes, de feldspaths et d'augite; les grands cristaux de plagioclase, augite et olivine. C'est une diabase à olivine porphyrique, ou une porphyrite à olivine. Les mélaphyres sont souvent amygdaloïdes.

Mercure (Gisements de). — Voir page 259 et *cinabre*.

Métamorphisme. — Altération des terrains, des roches ou des minéraux par des réactions postérieures à leur formation, notamment par l'intervention de venues éruptives postérieures, de simples phénomènes mécaniques (dynamo-métamorphisme), ou de réactions superficielles (*métasomatose*).

Météorite. — Roche tombée du ciel, et provenant peut-être originairement des volcans lunaires, formée essentiellement de fer natif nickélifère, avec pyrrhotine, graphite, diamant exceptionnel et silicates (péridot, pyroxène, enstatite, anorthite, labrador).

Mésozoïque (de *mesos*, moyen, *zôon*, animal). — Autre nom du système secondaire (17 à 40).

Miarolitique (structure). — Où des cristaux à forme nette s'enchevêtrent et laissent entre eux des espaces vides que tapissent des cristaux distincts.

Mica. — Minéral à clivage très facile, en paillettes élastiques et transparentes, silicate alumino-potassique ou magnésien. — Variétés : *muscovite*, ou mica blanc; *biotite*, ou mica noir; *phlogopite*, vert ou rouge brun. Un mica est une argile, où la potasse remplace en partie l'eau.

Micaschiste. — Élément des terrains cristallophylliens ou primitifs, associé avec les gneiss, présentant une série de types, depuis le schiste micacé jusqu'au quartzite micacé (voir pages 28 et 59).

Micraster. — Voir *Spatangue*.

Microgranulite (ou *Micro-granite*). — Désignation actuelle des porphyres quartzifères : roches paraissant à l'œil nu formées d'une pâte compacte, englobant des cristaux de feldspath, quartz, augite, etc., tandis qu'au microscope cette pâte se montre composée d'un agrégat cristallin, identique à celui des granulites.

Microlithes. — Cristaux du second *temps de consolidation*, visibles au microscope dans la pâte de certaines roches (en apparence, compacte à l'œil nu). Les principaux microlithes

sont ceux de feldspath, qui forment des baguettes allongées, ceux d'augite et de mica, ordinairement en petits grains, etc. Dans les roches fluidales, ces cristaux sont alignés en traînées.

Miliolidés. — Famille de foraminifères à test imperforé, normalement calcaire.

Miliolithe. — Petit foraminifère semblable à un grain de millet, abondant dans le calcaire grossier éocène.

Mimétèse. — Voir page 192.

Minerais ordinaires des divers métaux. — Voir page 197.

Minéralisateurs. — Agents chimiques, tels que le fluor, le bore, le soufre, l'acide carbonique liquide, etc., dont l'intervention explique la cristallisation de nombreux minéraux, et la formation de certaines roches.

Minette. — Roche à grain fin, formée d'orthose et de mica brun (ce dernier remplacé parfois par de l'amphibole), avec de l'oxyde de fer. On appelle aussi ces roches *Ortholithes*.

Miocène (de *meion*, moins; *kainos*, récent). — Partie inférieure du système tertiaire néogène (49 à 53).

Mispickel. — Sulfo-arséniure de fer, à aspect métallique comme la pyrite, de couleur blanche ou jaunâtre, souvent associé aux gisements d'étain; peut contenir de l'or (voir page 187).

Mofette. — Émanation d'acide carbonique dans les régions volcaniques.

Mollasse. — Formation de grès tendres et de sables plus ou moins argileux ou calcarifères, avec conglomérats, dits *nagelfluh*, dans le terrain tertiaire. — Dans les Alpes, la mollasse oligocène forme une ceinture extérieure au flysch. Le miocène suisse est également à l'état de mollasse. Le *schlier* miocène du bassin de Vienne, riche en sel et en gypse, est aussi une formation mollassique (50).

Molybdénite. — Sulfure de molybdène (voir page 195).

Monocotylédone. — Voir *Dicotylédone*.

Moraine. — Accumulation de débris formés par les glaciers. On distingue les moraines latérale et frontale, et la moraine médiane au confluent de deux glaciers.

Morts-terrains. — Terrains stériles, appartenant à la craie et au tertiaire, qui recouvrent le bassin houiller franco-belge.

Moscovien (de *Moscovia*, Moscou). — Étage carbonifèrien (12).

Muschelkalk. — Division moyenne du trias (18).

Muscovite. — Mica blanc.

Nagelfluh. — Voir *Mollasse*.

Nappe phréatique. — Voir page 150.

Natron. — Carbonate de soude hydraté.

Némausien. — Synonyme de valanginien (32).

Néocomien (de *Neocomum*, Neuchâtel, Suisse). — Étage infracrétacé (32).

Néogène (de *neos*, nouveau; *gènos*, race). — Système supérieur du tertiaire (49 à 56).

Néozoïque (de *neos*, nouveau; *zoôn*, animal). — Autre nom du système tertiaire (41 à 56).

Néphélinite (ou *Basalte à néphéline*). — Voir *Feldspathoides*. Roche basique à microlithes d'augite et de néphéline, avec grands cristaux d'augite, olivine, magnétite.

Neptunienne (Formation). — Formation par les eaux (type : terrains sédimentaires), par opposition à la formation *plutonienne* (type : roches éruptives).

Néritique (zone). — Zone où la profondeur des mers ne dépasse pas 200 m.

Neutre (Roche). — Voir *Acide (Roche)*.

Neuvizyen (de Neuvizy, Ardennes). — Sous-étage oxfordien (28).

Névroptère. — Insecte le plus souvent broyeur, avec quatre ailes égales membraneuses.

Nickel (Gisements de). — Voir pages 192 et 206.

Nitrates. — Voir pages 126, 181, 247.

Nitre (ou *Salpêtre*). — Azotate de potasse.

Nitrification. — Voir page 111.

Niveau hydrostatique. — Voir pages 50, 138, 150.

Nodule. — Concentration locale de diverses substances telles que le phosphate de chaux, le carbonate de fer, le bioxyde de manganèse, la silice, le calcaire, la pyrite. etc.

Norien. — Sous-étage tyrolien du trias (19) d'après Mojsisovics, remplacé par le juvavien.

Norite. — Roche basique à texture granitoïde, formée de plagioclase (labrador ou anorthite) et d'enstatite.

Novaculite. — Phyllade siliceux, à grain très dur et très fin, employé comme pierre à rasoir.

Nullipore.—Algue rouge à cellules incrustées de calcaire, connue depuis le rauracien (29), très répandue actuellement, dont le fossile ressemble extérieurement à une algue ou à un bryozoaire.

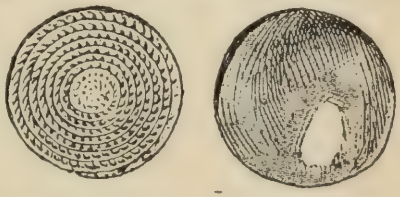


Fig. 39. — *Nummulites lævigata*, calcaire grossier lutétien (44) du bassin de Paris, gr. nat.

Nummulite. — Foraminifère en forme de petite pièce de monnaie, formant des couches entières dans l'éocène (fig. 39).

Nummulitique. — Équivalent de l'éogène méditerranéen (41 à 45).

Obsidienne (ou *Verre des volcans*). — Forme vitreuse de diverses roches éruptives plus ou moins acides : trachyte, andésite.

Oligiste. — Sesquioxyde de fer cristallisé. — Minerai important de fer, formant de grandes masses brillantes d'un gris métallique, donnant au broyage une poussière rouge. Contient 70 p. 0/0 de fer (voir pages 188, 213 et 254).

Oligocène (de *oligos*, peu; *kainos*, récent). — Partie supérieure du système tertiaire éogène (47 et 48).

Oligoclase. — Voir *Feldspath.*

Olivine. — Variété de péridot jaune verdâtre, abondante dans les basaltes.

Oolithe. — Petit grain ellipsoïdal, formé d'une série de couches concentriques autour d'un noyau central. Les oolithes calcaires et les oolithes d'oxyde de fer, notamment, forment des bancs entiers.

Opale. — Silice hydratée, tenant de 3 à 12 p. 0/0 d'eau. L'opale noble est remarquable par ses reflets irisés. Autres variétés : *ménilite*, *geysérite*, *silex nectique*, *tripoli*, etc.

Operculine. — Foraminifère tertiaire de la famille des nummulitinés : sa coupe montre une spirale aplatie.

Ophitique (Texture). — La texture ophitique des roches, intermédiaire entre la texture granitoïde et la texture microlithique, est marquée par la prédominance des cristaux allongés de plagioclase tendant vers la forme en baguette des microlithes, ces feldspaths à orientation quelconque étant englobés et reliés par un ciment de pyroxène ou d'amphibole à orientation unique. Cette texture est particulièrement caractérisée dans les ophites des Pyrénées.

Or (Gisements d'). — Voir pages 70, 187, 260.

Ordovicien (de Ordovices, Pays de Galles). — Étage silurien (3).

Orogénie. — Science de la formation des montagnes.

Orpiment. — Voir page 191.

Orthophyre, — Roche neutre à deux temps de consolidation, analogue aux porphyrites, mais dont les microlithes sont de l'orthose (grands cristaux de plagioclase, mica noir, amphibole). Les orthophyres quartzifères s'appellent aussi porphyres noirs, et sont accompagnés de tufs et brèches abondants.

Orthose. — Voir *Feldspath.*

Ostréacées. — Famille de mollusques bivalves, ayant l'huître pour type.

Ouralien (de l'Oural). — Étage carbonifèrien, équivalent du stéphanien (13).

Ouralitisation. — Transformation en amphibole du pyroxène.

Oursin. — Voir *Échinoderme* (fig. 32 et 33, p. 314).

Oxfordien (d'Oxford, Angleterre). — Étage supra-jurassique (28).

Paléogéographie. — Géographie de la Terre aux diverses époques géologiques (voir page 1).

Paléozoïque (de *palaios*, ancien; *zoôn*, animal). — Autre nom du système primaire (1 à 16).

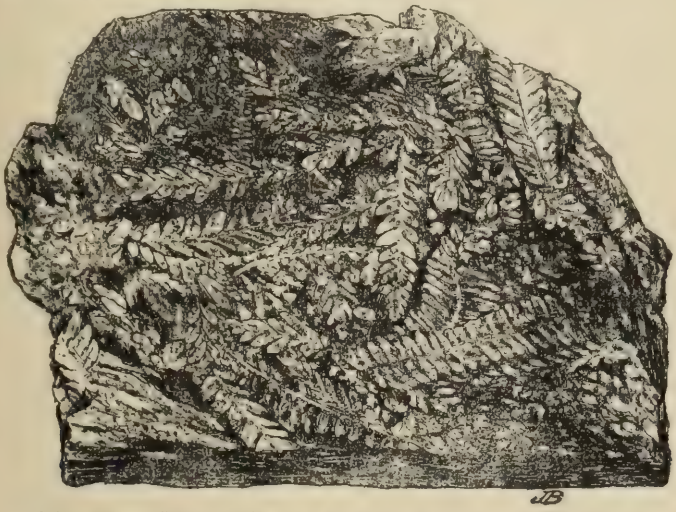


Fig. 40. — *Pecopteris* des schistes houillers de Petit-Cœur (Hautes-Alpes), 1/4 gr.

Paludine. — Gastéropode d'eau douce, très abondant dans certaines couches du miocène supérieur.

Panabase (cuivre gris). — Antimoniosulfure de cuivre souvent argentifère, gris d'acier ou gris noir. Contient de 25 à 41 p. 0/0 de cuivre (voir pages 189, 257).

Parisien. — Eocène supérieur (43, 44, 45).

Pechstein (ou *Rétinite*). — Verre naturel hydraté, en relation avec des roches acides.

Pecopteris — Fougère arborescente du terrain carbonifère, qui atteignait 15 à 18 mètres de haut (fig. 40).

Pegmatite. — Roche acide, variété de granulite, formée de quartz et de feldspath cristallisés simultanément et enchevêtrés, avec des houppes de mica blanc isolées. Dans les pegmatites graphiques, des cristaux de quartz allongés suivant l'axe

vertical et disposés parallèlement les uns aux autres sont englobés dans une pâte feldspathique, de telle sorte qu'une section transversale à l'un d'eux est, en même temps, transversale à tous les autres.

Pélagique (**Dépôt**). — Dépôt de haute mer, formé sans emprunt aux rivages (voir page 7).

Penjabien (de Penjab, Salt Range, Inde). — **Étage** permien (15).

Pépérite. — Tuf bréchiforme à fragments anguleux de basalte, contenant des coquilles lacustres tertiaires.

Péridot. — Silicate magnésien, avec une faible proportion de fer (voir *Olivine*).

Péridotite. — Roche basique à structure granitoïde, formée de péridot dominant avec un autre minéral ferrugineux : l'augite dans les *picrites*, le diallage dans les *wherlites* et les *therzolithes* (ces dernières contenant, en outre, de la bronzite), le fer chromé dans les *dunites*.

Perlite. — Roche acide vitreuse, analogue aux pechstein, avec division en petites sphères à écailles concentriques, et fissures en spirales.

Perméable (**Terrain**). — Terrain où les eaux peuvent s'infiltrer lentement, se disséminer dans l'épaisseur d'une strate déterminée et former des nappes d'eau produisant des sources à leur affleurement (voir page 132).

Permien (de Perm, Russie). — Système primaire (14 à 16).

Perthite. — Interpénétration de deux ou plusieurs feldspaths présentant la même orientation géométrique : le feldspath dominant formant la charpente d'un édifice, dont les autres constituent le remplissage; par exemple, orthose ou microcline englobant des facules d'albite ou d'anorthose.

Pétrosilex. — Roche compacte à l'œil nu, ayant la composition d'un feldspath sursaturé de silice, dans laquelle il y a mélange intime de matière confusément cristallisée et de matière amorphe formant au microscope des traînées nuageuses. On dit aussi *felsite*.

Phénocristal. — Grand cristal du premier temps de consolidation dans les roches à deux temps.

Phillipsite (ou *Erubescite*). — Minerai de cuivre panaché (sulfure de fer et de cuivre). Contient 55,6 0/0 de cuivre (voir pages 189 et 257).

Phonolithe. — Roche neutre, compacte et sonore, à deux temps de consolidation, comportant des grands cristaux de sanidine et de néphéline, d'amphigène ou d'haüyne, dans une pâte à microlithes de feldspath et d'haüyne.

Phosphates de chaux. — Voir pages 63, 126, 128, 181, 244.

Phosphore (dans les plantes). — Voir page 117.

Phosphorite. — Phosphate de chaux concrétionné, à cassure d'agate, remplissant des poches au milieu des terrains calcaires dans le Quercy (voir page 224).

Phrygane. — Insecte névroptère, dont la larve vit dans l'eau au milieu d'un tube (ou *indusie*).

Phtanite (ou *Lydite*). — Schiste siliceux noir, en plaquettes.

Phyllade. — Schiste divisé en minces plaquettes, comme les ardoises.

Phyllite. — Silicate hydraté (genre chloritoïde), en lames courbes dans les schistes précambriens.

Picrite. — Voir *Péridotite.*

Pierre à plâtre. — Voir pages 63, 242 et *Gypse.*

Pierre de taille. — Voir pages 102 et 240.

Pierre lithographique. — Voir *Calcaire* et page 241.

Pinite. — Voir *Cordiérite.*

Pisolithe. — Grain calcaire pareil à un pois, formé d'écailles concentriques, constituant des calcaires pisolithiques.

Placer. — Alluvion aurifère (voir page 226, 260).

Plagioclase. — Voir *Feldspath.*

Plaisancien. — (de Plaisance, Italie). Étage pliocène (54).

Plankton (de *planktos*, errant). — Organismes aquatiques, flottant d'une manière passive au gré des courants et ne nageant pas (par opposition au *nekton*, de *niko*, nager).

Plicatule. — Bivalve à coquille aplatie, lisse ou écailleuse, à valves inégales, apparaissant dans le trias et vivant encore aujourd'hui.

Pliocène (de *pleion*, plus; *kainos*, récent). — Partie supérieure du tertiaire (54 à 56).

Plissements. — Voir p. 38 et fig. 2, 3 et 25 (*Anticlinal*).

Plomb (Gisements de). — Voir pages 68, 258, *Cérusite* e *Galène.*

Plombagine. — Voir *Graphite.*

Plutonien. — Voir *Neptunien.*

Pœcilitique (groupement). — Groupement où un même minéral (ordinairement un feldspath) englobe des cristaux de un ou plusieurs minéraux divers, sans rapport d'orientation entre eux (contrairement au groupement pegmatoïde où les quartz englobés ont une orientation commune). Ce fait se présente surtout dans les roches basiques. Éponges de quartz globulaires englobant du feldspath microlithique ou du verre.

Polychroïsme. — Propriété qu'ont les cristaux biréfringents colorés de présenter des couleurs différentes suivant la direction dans laquelle les vibrations lumineuses les traversent. Le phénomène est très sensible dans la cordiérite.

Polypier. — Voir *Madrépore*.

Ponce. — Roche vitreuse, comparable à une écume d'obsidienne, à texture celluleuse et spongieuse.

Porcelaine. — Voir page 337.

Pontien (de Pont, Russie Mér.). — Étage miocène (53).

Porphyre. — Roche cristalline, présentant une pâte compacte, qui ne se résout pas au microscope, comme celle des microgranulites, porphyrites, etc., mais qui peut contenir du pétrosilex, des sphérolithes, etc. On distingue les porphyres pétrosiliceux, globulaires, etc. — Voir *Sphérolithe*.

Porphyrite. — Roche neutre ou basique ancienne à deux temps de consolidation, contenant de grands cristaux de mica noir, de pyroxène, d'amphibole, ou rarement d'olivine, dans une pâte à microlithes de plagioclase et quelquefois d'augite, ce qui la rattache aux augitophyres. Les porphyrites sont presque toujours décomposées à la surface en une argile jaune, contenant des boules de roche très dure.

Posidonie (ou *Posidonomye*). — Bivalve à coquille allongée obliquement, à bords arrondis, ornée de larges plis concentriques, dont certaines espèces sont caractéristiques, l'une du carbonifère inférieur, les autres du toarcien et du bathonien.

Potsdamien (de Potsdam, New-York, États-Unis). — Sous-étage cambrien (2).

Poudingue. — Conglomérat à galets roulés, réunis par un ciment quelconque (voir page 28).

Pouzzolane. — Sable volcanique ferrugineux, qui, mélangé d'un peu de chaux, donne un mortier durcissant dans l'eau.

Précambrien (de *pré*, avant, et *Cambria*, Pays de Galles). — Système primaire (1).

Prehnite. — Voir *Zéolithe*.

Priabonien (de Priabona, Italie). — Étage éocène (46).

Prises d'essai. — Voir pages 119, 226.

Productus. — Brachiopode très répandu dans le carbonifère. C'est une coquille bivalve avec une valve bombée et l'autre plate, une charnière longue et droite et de grandes épines creuses sur les valves.

Produits réfractaires. — Voir page 236.

Propylite. — Roche mal définie, résultant en général de l'altération d'une andésite, au voisinage de gisements métallifères.

Protogine. — Variété de granulite à chlorite au Mont-Blanc.

Provencien. — Nom proposé par Coquand pour les couches de Provence comprenant le haut du turonien (37) et la base du sénonien (38).

Psammite. — Grès argileux micacé à grain fin et très fissile.

Pseudomorphose. — Substitution d'un minerai à un autre, dont il conserve la forme cristalline extérieure.

Ptérocérien (de *Pterocera*, sorte de gastéropode). — Sous-étage kiméridgien (30).

Puits. — Voir pages 150, 153.

Purbeckien (de Purbeck, Dorsetshire). — Division supérieure du portlandien (31), étage supérieur du jurassique (couches d'eau douce ou saumâtres).

Pyrite de fer. — Sulfure de fer d'un jaune de laiton, d'un vif éclat métallique, cristallisant dans le système cubique (dodécaèdres, etc.). Minerai contenant 46,7 de fer et 53 de soufre, formant parfois des masses énormes au milieu des schistes (voir pages 186 et 205). Poids spécifique : 4,83 à 5,2.

Pyrolusite. — Bioxyde de manganèse noir de fer, souvent en faisceaux d'aiguilles, minerai fréquent de manganèse (voir pages 189 et 256).

Pyromorphite. — Voir page 192.

Pyroxénite. — Roche de plagioclase et de pyroxène (souvent avec grenat), en bancs dans les gneiss.

Pyrrhotine (ou *Pyrite magnétique*). — Sulfure de fer de teinte mordorée, contient fréquemment du nickel et du cuivre (voir pages 187 et 206). Poids spécifique : 4,54 à 4,64.

Quartz. — Silice cristallisée, minéral transparent ou laiteux en prismes hexagonaux terminés par une pyramide à six faces. Variétés : *cristal de roche*, *caillou du Rhin*, *améthyste*, *œil de chat*, *aventurine* (voir page 179).

Quartz de corrosion ou vermiculé. — Développement microscopique de quartz en lames ou gouttelettes dans la bordure d'un feldspath, lui donnant une apparence madréporique ou vermiculée.

Quartzite. — (S. M.) Couche cristalline compacte, généralement schisteuse, formée de grains de quartz soudés ensemble, souvent avec mica.

Radiolaire. — Foraminifère à squelette siliceux très varié et élégant de formes. On en trouve depuis le silurien jusqu'à l'époque actuelle (notamment dans les silex de la craie).

Rauracien (de Rauracie, région du Jura). — Sous-étage séquanien (29).

Réalgar. — Sulfure d'arsenic rouge (voir page 191).

Recouvrement (**Lambeaux de**). — Lambeaux d'un terrain inférieur, déversés sur un terrain plus récent par un phénomène de plissement et isolés ensuite par l'érosion de manière à former des sortes d'îlots (voir page 38).

Rejet. — Dénivellation produite par une *faille*.

Relief terrestre. — Voir page 266.

Réseau pentagonal. — Théorie, aujourd'hui abandonnée, qui ramenait toutes les directions d'accidents géologiques, plissements, failles, filons, etc., à un système géométrique, général pour toute la Terre et croyait pouvoir permettre de les calculer d'avance.

Rétinite. — Voir *Pechstein*.

Rétrogradation. — Voir page 117.

Rhétien (de *Rhætie*, Grisons, Suisse). — Étage liasique (20).

Rhodanien (de *Rhodanus*, Rhône). — Partie supérieure du barrémien, infracrétacé (33).

Rhodonite. — Carbonate de manganèse (voir p. 184 et 256).

Rhynchonelle (de ῥύγχος, bec). — Brachiopode voisin des térébratules (à côtes longitudinales), qui apparaît dans le silurien moyen et se développe surtout dans le jurassique (fig. 41).

Fig 41. — *Rhynchonella cuboïdes*. Dévonien de Grund. Grandeur naturelle. D'après un échantillon de l'Ecole des Mines.

Rhyolithe. — Roche acide, moderne, riche en silice (75 à 77 p. 0/0), à pâte porphyrique, en grande partie amorphe, avec traînées pétrosiliceuses et sphérolithes (grands cristaux d'orthose, quartz, mica noir, amphibole). On l'appelle aussi liparite.

Rivières. — Voir pages 138 et 273.

Roches cristallines. — Voir page 31.

Rothliegendes (grès rouge). — Niveau d'eau douce à la base du permien (saxonien) de la Saxe (15), sous le *zechstein*.

Rothomagien (ou craie de Rouen). — Nom proposé par Coquand pour la base du cénomanien (36).

Rubis. — Voir page 191.

Rudiste. — Voir *Hippurite* et fig. 37, p. 322.

Rupélien. — Oligocène supérieur (40).

Rutile. — Oxyde de titane; forme parfois, dans le cristal de roche, des filaments, dits cheveux de Vénus (voir page 191).

Sahélien — Terrain d'Algérie comprenant le tortonien (51) et une partie du pliocène (54).

Salse. — Équivalent des *maccalube*. Petit cône argileux d'où s'échappe une eau salée.

Sanidine. — Variété d'orthose (c'est-à-dire de feldspath) vitreux et fendillé, dans les roches volcaniques.

Sannoisien (de Sannois, S.-et-O.). — Sous-étage oligocène (46) équivalent du Tongrien de Dumont.

Santonien (de Saintes, Charente-Inférieure). — Sous-étage du sénonien inférieur (38).

Sarmatien (de la Sarmatie, Russie mér.). — Étage miocène (52).

Saxonien (de Saxe). — Étage permien (15; *Rothliegendes*).

Schéelite. — Voir page 195.

Schiste. — Couche argileuse dure et fissile, disposée en feuillets, ayant pris par le métamorphisme une structure en partie cristalline (voir page 23 et *Ardoise*).

Schlier. — Formation uniforme de *mollasse* marneuse, dépourvue de calcaire, mais riche en sel, en gypse et en hydrocarbures (fond de mer asséché), représentant l'helvétien (miocène moyen; 50) sur la bordure extérieure des Alpes (voir *Mollasse*).

Scorie. — Bloc de lave déchiqueté sur une coulée (par assimilation aux scories métallurgiques).

Scythien. — Equivalent du werfénien (17).

Sédiment. — Dépôt de précipitation chimique ou mécanique dans une nappe ou un courant d'eau. Les grès, argiles, calcaires, couches de galets des plages ou des torrents, etc., sont des sédiments.

Ségrégation (Gîtes de). — Voir page 205.

Sel gemme. — Voir pages 63 et 248.

Sénarmontite. — Oxyde d'antimoine (voir pages 195 et 257).

Sénonien (de *Senones*, Sens, Yonne). — Étage supra-crétacé (38 et 39).

Séquanien (de Séquanie, Jura). — Étage supra-jurassique (29).

Séricite. — Mélange de micas blanc et noir, formant des fibres entrelacées soyeuses, vertes ou jaunâtres, dans certains schistes métamorphiques.

Serpentine. — Silicate hydraté de magnésie. Minéral résultant de l'altération de péridot, d'enstatite, de pyroxène, d'amphibole, arrivant à former de véritables roches d'un vert plus ou moins sombre (voir page 185).

Sicilien (de Sicile). — Étage pliocène (56).

Sidérolithique. — Formation d'argile avec minerais de fer en grains concrétionnés, remplissant des poches dans les calcaires d'âge éocène et oligocène antérieur au tongrien (47).

Sidérose (ou *Fer spathique*). — Carbonate de fer, généralement brun. Contient 42,27 p. 0/0 de fer (voir pages 184 et 254).

Silex. — Roche formée de silice calcédonieuse très compacte

à cassure esquilleuse ou conchoïdale de couleur variable (variétés : *pierre à fusil*, *pierre meulière*; voir page 28).

Sillimanite. — Silicate d'alumine en longues baguettes très minces dans des schistes métamorphiques au voisinage de la granulite.

Silurien (des Silures, ancienne tribu du Pays de Galles). — Système primaire (2 à 4).

Sinémurien (de *Sinemurum*, Semur en Auxois). — Étage liasique (22).

Smaltine. — Arseniure de cobalt.

Soffioni. — Jets de vapeur chargés d'acide borique en Toscane.

Sol. — Voir page 107.

Solfatare. — Évent volcanique, donnant des vapeurs chargées d'acide sulfureux, sans coulée de lave.

Sondages. — Voir pages 95, 139, 216.

Soufre. — Voir page 191.

Sources. — Voir pages 141 à 150.

Sources thermo-minérales. — Voir page 168.

Sparnacien (de *Sparnacum*, Epernay). — Étage éocène (42).

Spatangue. — Les spatangidés sont une famille d'oursins (à forme octogonale allongée et assez plate), comprenant les *micraster*, abondants dans le crétacé; les *hémiaster* et les *spatangues* proprement dits du tertiaire, souvent très grands.

Spath. — Voir *Calcite*.

Sphène. — Silico-titanate de chaux, en cristaux jaunes, bruns, vert clair, ayant souvent la forme d'un toit de maison. Le nom vient de *sphèn* (coin) en grec.

Sphérolithe. — Groupement *globulaire* des éléments quartzeux ou feldspathiques dans la pâte des roches porphyriques (visible seulement au miscroscope). On peut avoir des sphérolithes entièrement composés de fibres d'orthose rayonnant autour d'un centre et seulement imprégnés d'un peu de quartz (ou parfois de matière vitreuse) qui caractérisent les *porphyres pétrosiliceux* (sphérolithes à croix noire au microscope polarisant). D'autres, inversement, sont uniquement formés de quartz (parfois orienté autour d'un grand cristal) et renferment seulement quelques microlithes feldspathiques (groupement pœcilitique) : ce sont les *porphyres à quartz globulaire*.

Sphérosidérite. — Variété compacte de carbonate de fer (*sidérose*), en nodules ou concrétions fibreuses.

Spicule (de *spica*, épi). — Partie siliceuse des éponges.

Spilite. — Roche amygdaloïde se rattachant aux porphyrites augitiques ou augitophyres.

Spinelle. — Aluminate de magnésie, où la magnésie peut

être remplacée par l'oxyde ferreux ou la chaux, l'alumine par le sesquioxyde de fer ou de chrome. Souvent en octaèdres. Eclat vitreux, couleurs très diverses. Variétés *pléonaste*, *picotite*, etc.

Spirifer. — Brachiopode en forme de triangle, à longue charnière droite, très abondant dans le carbonifère (fig. 42).

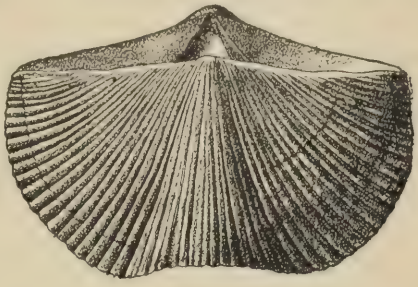


Fig. 42. — *Spirifer Verneuili* (Murch.) Dévonien de Ferques (Pas-de-Calais). D'après un échantillon de l'École des Mines.

Spongiaire. — Embranchement de zoophytes fixés, dont le corps est constamment traversé dans l'eau par un système de canaux. Squelette calcaire, siliceux ou nul. Les éponges se rencontrent dans tous les terrains géologiques et dans tous les faciès, mais surtout dans le faciès corallien.

Squale. — Genre de poissons (sélaciens), auquel appartient le requin. Ses dents, abondantes dans certains niveaux, sont de formes très variées; celles du *Carcharodon* miocène forment un grand triangle.

Stampien (de *Stampia*, Étampes). — Sous-étage oligocène (47), équivalent du rupélien.

Stéphanien (de *Stephani*, Saint-Étienne). — Étage carboniférien (13).

Stibine. — Sulfure d'antimoine (minerai ordinaire d'antimoine) en longs prismes striés, à éclat métallique grisâtre, fusible à la flamme d'une bougie (voir pages 188 et 257).

Stilbite. — Voir *Zéolithe*.

Stockwerk. — Système de cassures filoniennes complexe, formant un réseau de veinules enchevêtrées, type fréquent pour les gisements d'étain ou d'antimoine.

Strate. — Couche sédimentaire (voir *Assise*).

Strie glaciaire. — Rayure produite par les roches entraînées dans le mouvement des glaciers.

Stringocéphale. — Brachiopode abondant dans le silurien et le dévonien.

Strontianite. — Carbonate de strontiane.

Suessonien (de *Suessiones*, Soissons). — Ancien nom d'étage (de d'Orbigny), équivalent approximatif du landénien (41,42) formant la base de l'éocène, dont le Parisien occupait la partie supérieure. Dans le bassin anglo-parisien, le suessonien a été subdivisé en thanétien (41), sparnacien (42), yprésien (43).

Dans le bassin méditerranéen, où la base de l'éocène revêt d'une façon beaucoup plus uniforme le facies nummulitique, on a parfois conservé sans distinction le terme de suessonien.

Syénite. — Roche neutre granitoïde; granite sans quartz, fréquemment amphibolique.

Synclinal. — Voir *Anticlinal.*

Taconique. — Ancienne désignation du cambrien américain (2).

Talc. — Silicate de magnésie hydraté, en lamelles onctueuses (voir page 195).

Tectonique. — Science qui étudie les mouvements de l'écorce terrestre, plissements et dislocations, ayant produit les anciennes chaînes de montagnes (*orogénie*), plus ou moins nivelées dans la suite par les érosions (voir pages 13 et 17).

Téléostéen. — Poisson osseux, pourvu d'écailles cycloïdes ou cténoïdes, parfois de plaques osseuses. Type le plus spécialisé des poissons et le plus abondant aujourd'hui, qui a succédé aux *ganoïdes* depuis le trias.

Temps de consolidation. — Une roche ne présente qu'un temps de consolidation, comme le granite, quand tous ses minéraux paraissent avoir cristallisé à peu près simultanément dans des conditions de pression, température et énergie chimique semblables. Elle offre, au contraire, deux temps distincts, comme les trachytes, basaltes, etc., quand de premiers cristaux de grande dimension se sont formés en profondeur au milieu d'une pâte restée fluide, qui a cristallisé ensuite dans des conditions très différentes : les cristaux de cette pâte n'étant visibles qu'au microscope et constituant alors des *microlithes.*

Teneurs des minerais. — Voir page 226.

Téphrite. — Lave basique à microlithes de néphéline et augite, à grands cristaux de labrador, augite, parfois olivine. La *leucotéphrite* renferme de la leucite au lieu de la néphéline.

Fig. 43. — *Terebatula* (*Waldheimia*), *Digona*, bathonien de Ranville (Calvados). Gr. nat.

Terébratule (de *terebratus*, perforé). — Brachiopode à deux valves inégales (dépassant rarement 2 centimètres de long), très abondant dans les terrains secondaires (fig. 43).

Terreau. — Voir page 43.

Terre franche. — Voir page 43.

Terre rouge. — Voir page 57; en terme de potier, argile rouge.

Terre végétale. — Voir page 43.

Tétraédrite. — Synonyme de cuivre gris.

Thalweg. — Vallée, ou dépression, où coule un cours d'eau. Équivalent de synclinal (voir *Anticlinal*).

Thanétien (de Thanet, Angleterre). — Étage éocène (41).

Thuringien (de Thuringe). — Étage permien (16) (*Zechstein*).

Titanite. — Voir Sphène.

Tithonique. — Faciès pélagique des couches suprajurassiques, passant insensiblement au crétacé.

Toadstone. — Porphyrite dans le carbonifère anglais.

Toarcien (de *Toarcum*, Thouars, Deux-Sèvres). — Étage liasique (24).

Tongrien (de Tongres, Belgique). — Étage oligocène (47).

Topaze. — Silicate d'alumine fluoré, généralement prismatique, jaune, blanc, vert, bleu, etc. Calcinée, la topaze donne la *topaze brûlée* rose (voir page 193).

Tortonien (de Tortone, Italie). — Étage miocène (51).

Tourmaline. — Borosilicate fluoré d'alumine, en baguettes noires dans les granulites, plus rarement en cristaux transparents de teintes diverses,

Trachyte. — Roche éruptive moderne neutre à deux temps de consolidation : I. Grands cristaux d'orthose, mica noir, amphibole, pyroxène; II. Microlithes d'orthose; — rude au toucher, grisâtre ou rosée (voir page 29).

Transgression. — Débordement de la mer sur ses rivages, amenant le dépôt de sédiments sur une partie antérieurement émergée (voir page 21).

Trapp. — Ancien nom, correspondant à une roche basique et compacte mal définie (porphyrite, métaphyre, etc.).

Travertin. — Dépôt d'incrustation calcaire, produit par évoporation sur des pentes ou au fond d'un bassin, souvent dû à des sources thermales.

Trémie. — Forme caractéristique de certains cristaux de sel en entonnoirs pyramidaux.

Trémolite. — Variété d'*amphibole*, formant l'asbeste, l'amiante, le jade, la néphrite.

Triasique (c'est-à-dire anciennement divisé en trois étages). — Système commençant le Secondaire (17 à 19).

Trichite. — Voir *Cristallite*.

Tridymite. — Silice cristallisée en petites paillettes hexagonales, souvent dans les roches éruptives modernes (voir page 196).

Trilobite. — Crustacé caractéristique des terrains primaires, dont le corps se divise, dans la longueur comme dans la largeur, en trois parties : dans la largeur, les trois lobes longitudinaux qui lui donnent son nom et, dans la longueur : 1° la tête avec des yeux parfois énormes; 2° l'abdomen; 3° le pygidium,

formés de nombreux segments soudés, avec séries de pattes en dessous. Genres : *paradoxydes*, *calymène*, *homalonotus*, *phacops*, *asaphus*, etc. (fig. 44).

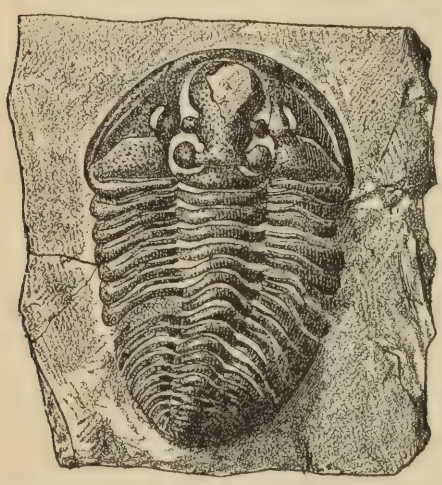


Fig. 44. — Type de trilobite du silurien supérieur (étage 4). *Calymene Blumenbachi* (Brongn.) de Dudley. Gr. nat.

Tripoli. — Silice (opale), provenant des carapaces de diatomées formant des couches dans certains terrains.

Tuf. — Dépôt calcaire, léger, caverneux, habituellement formé par suintement autour de mousses, d'algues ou d'herbes.

Tuiles. — Voir page 235.

Tungstène (Gisements de). — Voir page 256.

Turonien (des *Turones*, habitants de la Touraine). — Étage supracrétacé (37).

Tyrolien (de Tyrol). — Étage triasique (19).

Uranite. — Voir page 192.

Urgonien. — Faciès pouvant se produire à divers étages crétacés, autrefois considéré comme caractéristique d'un étage appelé aujourd'hui barrémien (33).

Valanginien (de Valangin, près Neuchâtel, Suisse). — Sous-étage néocomien (32).

Valentinite. — Voir page 196.

Vallées. — Voir pages 275 à 282 et fig. 18 à 21.

Variations en profondeur. — Voir page 229.

Variolite. — Variété porphyroïde d'euphotide à type globulaire, avec des sphéroïdes d'oligoclase et pyroxène dans une pâte vert foncé à texture fluidale et perlitique.

Vauclusienne (Source). — Source abondante, remontant de la profondeur comme les sources thermales, généralement par une fissure dans les calcaires (voir page 149).

Verre. — Voir page 238.

Vers ciliés. — Embranchement d'animaux à symétrie bilatérale, avec cavité générale distincte et cils vibratiles autour de la bouche, déterminant un courant qui y apporte les aliments. Comprend les bryozoaires et les brachiopodes.

Verrucano. — Conglomérat permien des Alpes, rouge avec cailloux de quartz et débris de schiste (14).

Vindobonien. — Ensemble des étages helvétien et tortonien (50 et 51) dans le miocène.

Virglorien (de Virgloria, Alpes Rhétiques). — Étage triasique (18).

Virgulien (de l'*Exogyra virgula*, forme d'ostracée). — Sous-étage kimeridgien (30).

Vitreuse (**Roche**). — Roche analogue à un verre fondu de composition variable (obsidienne, ponce, pechstein, perlite, etc.).

Vivianite. — Phosphate hydraté de fer de couleur bleue.

Volcan de boue. — Voir *Maccalube* et *Salse*.

Volgien. — Portlandien russe (31).

Vosgien (de Vosges). — Étage triasique (17).

Vraconnien. — Passage de l'albien (35) au cénomanien (36) en Suisse.

Weald. — Étage infracrétacé anglais, dépôt d'estuaire ou de delta, formation d'eau douce inférieure au grès vert aptien (34) et supérieure au purbeck (31).

Werfénien (de Werfen, Salzbourg). — Étage triasique (17).

Westphalien (de Westphalie). — Étage carboniférien (12).

Wolfram. — Voir pages 190 et 256.

Wulfénite. — Voir pages 192, 194.

Yprésien (d'Ypres, Belgique). — Étage éocène (43).

Zechstein. — Terme supérieur du permien de Saxe (niveau marin; 16). Voir *Rothliegendes*.

Zéolithes. — Famille de silicates d'alumine hydratés, ordinairement dans les amygdales des roches volcaniques. Variétés : *mézotype* (sodique) en prismes ou rognons radiés; *analcime* (sodo-calcique) en gros trapézoèdres; *christianite* (calco-potassique) en double croix grecque; *gismondine* (calco-potassique) en octaèdres; *apophyllite* (calco-potassique sans alumine), en tables; *chabasie*, *stilbite* et *heulandite* (chaux, potasse, soude); *laumonite* et *prehnite* (chaux); *harmotome*, en forme de roue dentée et *brewstérite* (baryte) (voir page 185).

Zinc (**Gisements de**). — Voir pages 68, 191, 224, 258, et les mots *Blende*, *Calamine*.

Zircon. — Silicate de zircone, élément caractéristique de certaines syénites éléolithiques (voir pages 191, 192).

Zone de cémentation. — Voir page 54.

Zone d'oxydation. — Voir page 53.

Zoophyte. — Ancien synonyme mal déterminé de polype.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE V

CHAPITRE I

La géologie. Son but pratique et scientifique. Ses moyens d'action 1

CHAPITRE II

Notions de géologie générale nécessaires dans la pratique 24

A. Caractères extérieurs des principaux terrains (calcaires, grès, schistes, etc.) 26
B. Usage pratique d'une coupe géologique. Cas du Bassin de Paris 32
C. Plissements, renversements, failles, etc 37
D. De la nature et du rôle des terrains superficiels. — Leur mode de formation physique et chimique. — Influence du niveau hydrostatique; zone d'oxydation et zone de cémentation ou de décalcification. — La terre végétale 41
E. Altération superficielle des gîtes métallifères. — Aspect de ces gîtes aux affleurements 62

CHAPITRE III

Des cartes et coupes géologiques..... 72

A. Comment on les fait..... 73
B. Comment on les utilise..... 84

CHAPITRE IV

Application de la géologie à l'art de l'ingénieur..... 96

Établissement d'un tracé de route ou de canal. Position à donner aux sondages. Recherche des matériaux de construction ou d'empierrement, des pierres de taille et des pierres à chaux..... 97

CHAPITRE V

Application de la géologie à l'agriculture..... 106

A. Le sol et le sous-sol..... 106
B. Les aliments de la plante. Théorie de la nitrification. 107
C. Fumiers et engrais chimiques. Diverses catégories de sols. Engrais à utiliser suivant la nature géologique du sol et le genre de cultures. Rôle du sous-sol..... 118
D. Recherche locale des engrais minéraux et amendements..... 127
E. Cartes agronomiques..... 129

CHAPITRE VI

Application de la géologie : 1° à la recherche et au captage des eaux; 2° à l'irrigation; 3° au drainage; 4° à l'évacuation des eaux souillées et à l'hygiène publique. 131

1° *Moyens de s'alimenter en eau*..... 135
A. Eaux de pluie, citernes, étangs et mares..... 136

B. Eaux courantes, ruisseaux et fleuves; leurs nappes profondes..... 138
C. Eaux souterraines. Leurs divers modes de circulation et de suintement. Sources éparpillées des granites; niveaux d'eau des strates poreuses; sources abondantes et localisées des terrains calcaires. Nappes artésiennes. Filons formant des plans d'eau.....
De la contamination des eaux, de leurs impuretés organiques et minérales; leur bassin d'alimentation; leur purification possible dans le trajet souterrain par filtrage et nitrification.....
Captage par fontaines, puits, galeries, etc..... 141
2° *Irrigation*..... 158
3° *Drainage des eaux.* — Assainissement des terrains tourbeux et marécageux; desséchement..... 160
4° *Évacuation des eaux contaminées organiquement ou chimiquement.* — Puits absorbants, couches absorbantes, etc. 164

CHAPITRE VII

Application de la géologie à la recherche et au captage des sources thermo-minérales..... 168

CHAPITRE VIII

Application de la géologie à la recherche des minerais, combustibles ou autres substances minérales utiles et à l'appréciation de la valeur industrielle des gisements. 176

A. Notions de minéralogie pratique..... 177
B. Évaluation d'un gisement. — Grandes catégories de gîtes minéraux et métallifères. Leur origine..... 198
C. Moyens de cubage préalable d'un gisement. — Recherche du prolongement d'un gîte connu. Examen géologique. Étude au magnétomètre. — Travaux d'exploration. Galeries, descenderies, puits et sondages. — Prises d'essai 212
D. Variations à attendre en profondeur..... 229
E. Premières formalités administratives pour une recherche de mine..... 231

F. Étude des principales substances minérales utiles. Mode de gisement : qualités et défauts à apprécier. — Matières premières des briques, faïences, ciments, verres, etc. — Pierres de taille. — Pierres lithographiques. — Marbres. — Pierres à plâtre. — Ardoises. — Phosphates. — Asphaltes et bitumes. — Sels gemmes. — Combustibles minéraux. — Métaux divers, fer, manganèse, étain, antimoine, cuivre, plomb, zinc, mercure, argent, or, etc. 234

CHAPITRE IX

Application de la géologie à l'étude topographique, géographique ou simplement pittoresque des formes des terrains 262

A. Utilité de notions géologiques sommaires pour le topographe, le géographe, l'officier, l'ingénieur, l'artiste et l'historien 262

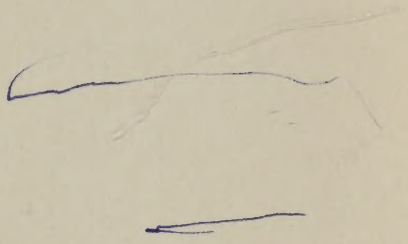
B. Le relief terrestre. Ses causes et son mode de formation. Types généraux de relief topographique et d'aspect pittoresque, résultant de la nature géologique du sol. 266

C. Application plus détaillée des idées précédentes au cas particulier du bassin de Paris 286

CHAPITRE X

PETIT DICTIONNAIRE TECHNIQUE DES TERMES GÉOLOGIQUES ET MINÉRALOGIQUES LES PLUS USUELS. TABLEAU CHRONOLOGIQUE DES TERRAINS SÉDIMENTAIRES 293

1604-08. — Coulommiers. Imp. PAUL BRODARD. — P2-09.



La Bibliothèque
iversité d'Ottawa
Echéance

The Library
University of Ottawa
Date Due

27 0 4 75

p 2 78

OCT 2

CT 18 '83

OCT 0 6 '83

23 NOV '83

16 NOV '83

CE

a39003 004416466b

CE QE 0033
.L3G 1909
COO LAUNAY, LOUI GEOLOGIE P
ACC# 1291714

U D' / OF OTTAWA
COLL ROW MODULE SHELF BOX POS C
333 02 07 09 04 20 7